

MINISTRY OF NATURAL RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL SERVICE
FOR HYDROMETEOROLOGY AND ENVIRONMENTAL MONITORING
FEDERAL WATER RESOURCES AGENCY

WATER RESOURCES OF RUSSIA AND THEIR USE

*Edited by
Prof. I. A. Shiklomanov*

State Hydrological Institute
Saint Petersburg
2008

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

*Под редакцией
проф. И. А. Шикломанова*

Государственный гидрологический институт
Санкт-Петербург
2008

УДК 556.5
ББК 26.22
В62

Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И. А. Шикломанова. — СПб.: Государственный гидрологический институт. — 600 с., ил.

ISBN 978-5-98147-006-6

Коллективная монография посвящена проблемам изучения и оценки возобновляемых водных ресурсов России (поверхностных и подземных вод и их качества), распределению по территории и изменению во времени за многолетний период и на ближайшую перспективу (2015—2020 гг.) в условиях развития хозяйственной деятельности и антропогенных изменений глобального климата.

Обобщены результаты исследований, полученные российскими учеными за последние два десятилетия, включая самые последние годы, что представляет несомненный интерес, поскольку именно в этот период в России произошли наиболее серьезные изменения основных факторов, определяющих колебания водных ресурсов и их изменения во времени и по территории: изменения климата и кардинальные преобразования в социально-экономической сфере.

На основании обобщения и анализа многолетних наблюдений по гидрологическому режиму и качеству поверхностных и подземных водных объектов, а также данных учета водопотребления и результатов исследования изменений формирования речного стока за счет хозяйственной деятельности на водосборах и изменений климата, в монографии представлены самые современные оценки различных характеристик возобновляемых водных ресурсов для всех основных речных водосборов страны, субъектов РФ, федеральных округов и гидроклиматических регионов, их распределения по территории и изменения во времени (в том числе за последние два десятилетия и на перспективу), которые могут стать надежной основой для перспективного планирования и разработки крупномасштабных мероприятий по комплексному использованию и охране водных ресурсов и решению комплексных проблем водообеспечения в различных регионах и речных бассейнах России.

Для сравнения динамики водных ресурсов и тенденций их использования, а также водообеспеченности России и других стран и регионов мира в монографии приводятся сведения о мировых возобновляемых водных ресурсах, их использовании, динамике во времени, в том числе на перспективу, и распределении по территории — по всем континентам, природно-экономическим регионам, а также избранным странам. Указанные данные основаны на результатах многолетних исследований ГГИ (Государственный гидрологический институт) в рамках Международных гидрологических программ ЮНЕСКО и ВМО.

УДК 556.5
ББК 26.22

Water resources of Russia and their use / Ed. by Prof. I. A. Shiklomanov. — St. Petersburg: State Hydrological Institute. — 600 p.

ISBN 978-5-98147-006-6

The Monograph deals with the problems of studying and estimating the renewable water resources of Russia (surface and ground waters and their quality), their spatial and temporal distribution both for a long-term past period and the nearest future (2015-2020) under the conditions of developing economy and anthropogenic global climate change.

Summarized are the results of studies on the problem obtained by Russian scientists for the last two decades, which are of undoubted interest, as far as in Russia in this period, drastic changes occurred to the major factors determining variations in water resources and their spatial and temporal distribution: climate change and cardinal reorganization in socio-economic sphere.

The Monograph is based on generalization and analysis of long-term observation data on hydrologic regime and quality of surface and ground water bodies, on water use and modified river runoff formation due to economic activities in river basins and climate change. The Monograph presents thus the most contemporary estimates of different characteristics of renewable water resources for all river basins of the country, subjects of the Russian Federation, Federal Districts and hydro-climatic regions, their spatial and temporal distribution, including these for the last two decades and nearest future. Therefore, the Monograph can serve a reliable basis for future planning and developing large-scale projects on integrated use and protection of water resources, including solution of complex problems of water availability in different regions and river basins of Russia.

To compare the dynamics of water resources and their use in Russia and other countries and world regions, the Monograph presents information about renewable water resources and water consumption in the world in the 20th century and in the future. The data is based on long-term studies of SHI within the framework of the International Hydrological Program of UNESCO and WMO.

© Коллектив авторов, 2008
© Государственный гидрологический институт, 2008
© Руднева О. В., обложка, 2008

ISBN 978-5-98147-006-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	11
Preface	13
Глава 1 (вводная)	
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ — ОСНОВА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (И. А. Шикломанов)	15
Литература	23
ГЛАВА 2	
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГИДРОГРАФИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (В. И. Бабкин)	25
2.1. Общие сведения	25
2.2. Материковая часть	26
2.2.1. Рельеф	26
2.2.2. Климат	32
2.2.3. Почвы и растительность (И. А. Никифорова)	37
2.2.4. Гидрография	41
2.2.4.1. Главнейшие водоразделы	41
2.2.4.2. Крупнейшие реки, озера, водохранилища и каналы (Т. И. Принцева)	43
2.3 Острова (Е. Л. Скорятин)	48
Литература	50
Глава 3	
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ	52
3.1 Гидросфера Земли (И. А. Шикломанов)	52
3.1.1. Основные понятия и определения	52
3.1.2. Запасы воды в гидросфере и периоды их возобновления	53
3.2. Глобальный гидрологический цикл (И. А. Шикломанов)	57
3.2.1. Общая схема	57
3.2.2. Основные факторы	58
3.2.3. Процессы водообмена	60
3.2.3.1. Водообмен между океаном и атмосферой; испарение с водной поверхности и осадки	60
3.2.3.2. Водообмен между сушей и атмосферой; испарение с суши и осадки	62
3.2.3.3. Водообмен между сушей и океаном; речной сток	64
3.2.3.4. Взаимодействие поверхностных и подземных вод	67
3.2.4. Мировой водный баланс	68
3.2.5. О современных изменениях глобального гидрологического цикла	73
3.3. Гидрологический цикл на территории России (В. И. Бабкин)	77
3.3.1. Водообмен в атмосфере (Е. Л. Скорятин)	77
3.3.2. Водообмен на земной поверхности	82
3.3.2.1. Атмосферные осадки	82
3.3.2.2. Испарение	87
3.3.2.3. Речной сток	88
3.3.3. Генезис и состав вод крупнейших речных бассейнов	90
3.3.4. Элементы гидрологического цикла и их современные изменения	95
Литература	96

Глава 4	
МЕДЛЕННО ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ («ВЕКОВЫЕ» ЗАПАСЫ ВОДЫ) (В. И. Бабкин) 99	
4.1. Общие сведения	99
4.2. Озера	99
4.3. Водохранилища	100
4.4. Болота	101
4.5. Русла рек	101
4.6. Запасы воды в биологической форме	102
4.7. Вода в атмосфере	103
4.8. Почвенная влага	103
4.9. Запасы подземных вод в верхней части земной коры	103
4.10 Запасы воды во льдах	104
4.11. Многолетняя мерзлота, подземные льды и наледи	106
4.12. Запасы воды и их возобновление	108
Литература	109
Глава 5	
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ И БАССЕЙНОВ МОРЕЙ РОССИИ . . . 110	
5.1. Гидрологическая сеть и ее развитие (Н. Н. Бобровицкая)	110
5.2. Методология оценки водных ресурсов (В. И. Бабкин)	114
5.2.1. Общие сведения	114
5.2.2. Метод линейных уравнений стока	116
5.3. Крупнейшие речные бассейны (В. И. Бабкин, Т. Г. Маркелова, Е. Л. Скорятин)	118
5.4. Бассейны морей (Т. Г. Маркелова)	120
5.5. Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов (В. И. Бабкин)	126
5.5.1. Колебания стока рек	126
5.5.2. Динамика водных ресурсов (Т. Г. Маркелова)	127
5.5.2.1. Методы и результаты оценки	127
5.5.2.2. Проверка гипотезы о наличии линейных трендов	129
5.5.2.3. Результаты анализа на стационарность (однородность)	129
5.5.2.4. Результаты исследований линейных трендов	131
5.6. Синхронность и асинхронность колебаний водных ресурсов (Т. Г. Маркелова)	134
5.7. Внутригодовое распределение стока рек (В. Ю. Георгиевский, А. Л. Шалыгин, Т. Г. Молчанова)	137
5.7.1. Общая характеристика	137
5.7.2. Многолетняя динамика; влияние потепления климата	139
5.7.2.1. Общий методологический подход	140
5.7.2.2. Современные изменения водного режима	144
5.7.2.3. Причины современных изменений внутригодового распределения стока	153
5.7.2.4. Влияние глобального потепления на сток европейских рек	154
5.7.3. Внутригодовое распределение стока основных рек страны	155
Литература	163
Глава 6	
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОЗЕР 166	
6.1. Распределение по территории (Т. П. Гронская)	166
6.2. Запасы воды (Т. П. Гронская)	167
6.3. Уровень воды (Н. А. Лемешко)	169
6.4. Водный баланс (Т. П. Гронская)	173
Литература	175
Глава 7	
КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД (А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. Е. Лобченко, В. П. Емельянова, И. П. Ничипорова) . . . 176	
7.1. Государственная сеть контроля за загрязнением водных ресурсов	176
7.2. Методология оценки загрязненности речных бассейнов и административных регионов	179
7.3 Загрязненность поверхностных вод регионов и речных бассейнов	180
7.4. Динамика загрязненности поверхностных вод гидрографических районов	217
Литература	228

Глава 8	
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ 229	
8.1. Основные понятия и определения (Б. В. Боревский, И. С. Зекцер, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	229
8.2. Современное состояние проблемы (Б. В. Боревский, И. С. Зекцер, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	233
8.3. Методы оценки и картирования естественных ресурсов (И. С. Зекцер)	235
8.4. Методы оценки и картирования эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов (Б. В. Боревский, Л. С. Язвин)	238
8.5. Основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов (И. С. Зекцер)	244
8.6. Геохимические особенности подземных питьевых вод (М. С. Голицын, В. П. Закутин)	248
8.6.1. Общие положения	248
8.6.2. Геохимические провинции	250
8.6.3. Качество подземных вод	253
8.7. Основные положения современной методики оценки возобновляемых прогнозных ресурсов (Б. В. Боревский, Л. С. Язвин)	255
8.8. Территориальное распределение прогнозных ресурсов (Б. В. Боревский, Т. И. Шарова, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	260
8.9. Современное использование подземных вод (Б. В. Боревский, С. Л. Пугач, Т. И. Шарова, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	275
8.10. Принципы оценки обеспеченности населения ресурсами подземных вод (Б. В. Боревский, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	279
Литература	280
Глава 9	
АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ 282	
9.1. Факторы хозяйственной деятельности и методы оценки их влияния на водные ресурсы (И. А. Шикломанов)	282
9.1.1. Общие положения	282
9.1.2. Классификация факторов хозяйственной деятельности	283
9.1.3. Методология оценки и прогноза	284
9.2. Влияние промышленно-коммунального и сельскохозяйственного водопотребления на водные ресурсы	288
9.2.1. Полное и безвозвратное водопотребление. Динамика суммарного водопотребления (И. А. Шикломанов)	288
9.2.2. Коммунальное водопотребление (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова)	291
9.2.3. Водопотребление промышленностью и теплоэнергетикой (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова)	295
9.2.4. Орошение и сельскохозяйственное водоснабжение (И. А. Шикломанов, К. В. Цыценко)	299
9.3. Водохранилища и их влияние на гидрологический режим и водные ресурсы	307
9.3.1. Общие сведения (Т. П. Гронская)	307
9.3.2. Роль крупнейших водохранилищ в регулировании речного стока (Т. П. Гронская, И. П. Зарецкая)	313
9.3.3. Водохранилища как потребители пресной воды (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова)	319
9.3.3.1. Методы оценки дополнительных потерь воды на испарение	319
9.3.3.2. Анализ величин дополнительного испарения с водохранилищ в бассейнах рек Волги и Днепра	321
9.3.3.3. Упрощенная схема оценки дополнительного испарения	322
9.3.4. Восстановление естественного стока зарегулированных рек (В. Ю. Георгиевский, А. Л. Шалыгин)	325
9.3.4.1. Общие положения	325
9.3.4.2. Методика исследования	326
9.3.4.3. Реализация методики восстановления стока на примере бассейна р. Волга	328
9.3.4.4. Ретрансформация месячных рядов стока больших рек, зарегулированных водохранилищами	331
9.3.5. Водный баланс крупнейших водохранилищ (Т. П. Гронская, И. П. Зарецкая)	335

9.4. Влияние на сток антропогенных факторов, действующих на водосборах (И. А. Шикломанов)	341
9.4.1. Лесотехнические мероприятия	341
9.4.2. Агротехнические мероприятия	344
9.4.3. Осушительная мелиорация (К. В. Цыценко)	349
9.4.4. Урбанизация	351
9.5. Антропогенные факторы изменения климата (И. А. Шикломанов)	353
9.5.1. Об изменениях характеристик влагооборота за счет использования пресных вод	353
9.5.2. Изменение газового состава атмосферы и его влияние на климат и водные ресурсы	355
9.6. Влияние комплекса антропогенных факторов на водные ресурсы речных бассейнов (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова, К. В. Цыценко)	358
9.6.1. Оценки, выполненные в 1970-е и 1980-е годы	358
9.6.2. Современные оценки антропогенных изменений стока рек	362
Литература	368
Глава 10	
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ И КАЧЕСТВО ВОДЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГИОНОВ	374
10.1. Общие положения (В. И. Бабкин)	374
10.2. Методы оценки возобновляемых поверхностных водных ресурсов (В. И. Бабкин, Т. Г. Маркелова)	375
10.3. Возобновляемые поверхностные водные ресурсы и их изменчивость (В. И. Бабкин)	376
10.3.1. Среднегодовое водные ресурсы (Т. Г. Маркелова)	376
10.3.2. Изменчивость водных ресурсов (Т. Г. Маркелова)	383
10.3.3. Водные ресурсы за маловодные периоды (Е. Л. Скорятина)	383
10.4. Многолетняя динамика поверхностных водных ресурсов местного формирования (В. И. Бабкин)	387
10.4.1. Результаты исследований рядов местных водных ресурсов на стационарность (однородность) (Т. Г. Маркелова)	388
10.4.2. Результаты исследований линейных трендов в рядах местных водных ресурсов (Т. Г. Маркелова)	389
10.4.3. Изменения местных водных ресурсов за период 1985–2005 гг. по отношению к периоду 1930–1984 гг.	389
10.4.4. Природная удельная водообеспеченность населения и территории в различные по водности годы (Т. Г. Маркелова, Е. Л. Скорятина)	393
10.5. Водопотребление и водообеспеченность, нагрузка на водные ресурсы	396
10.5.1. Основные факторы и методы оценки (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова)	396
10.5.2. Характеристика социально-экономического развития, водопотребления и водообеспеченности федеральных округов (Ж. А. Балонишникова)	400
10.5.3. Водопотребление, нагрузка на водные ресурсы и водообеспеченность субъектов РФ и гидроклиматических регионов (Ж. А. Балонишникова)	409
10.6. Оценка качества воды по регионам и субъектам РФ (А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. Е. Любченко, В. П. Емельянова, И. П. Ничипорова)	418
10.7. Подземные водные ресурсы, их использование и качество (Б. В. Боровский)	420
10.7.1. Методы оценки (И. С. Зекцер, Л. С. Язвин)	420
10.7.2. Использование, качество и динамика во времени (В. П. Закутин, С. Л. Пугач, Л. С. Язвин, А. Л. Язвин)	421
10.7.2.1. Прогнозные эксплуатационные ресурсы	421
10.7.2.2. Эксплуатационные запасы	426
10.7.2.3. Водоотбор и использование	427
10.7.2.4. Характеристика качества подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения	431
10.7.2.5. Об изменениях ресурсов подземных вод во времени	434

10.8. Регионы, наименее обеспеченные поверхностными и подземными водными ресурсами (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова)	435
Литература	439
Глава 11	
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ: ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ.	441
11.1. Общая концепция перспективной оценки водных ресурсов (И. А. Шикломанов)	441
11.2. Прогнозные оценки изменений стока рек на основе климатических сценариев (И. А. Шикломанов, В. Ю. Георгиевский, А. Л. Шалыгин, М. В. Георгиевский, О. Ф. Голованов, А. И. Шикломанов)	442
11.2.1. Общие методологические вопросы	442
11.2.2. Анализ и выбор климатических сценариев.	445
11.2.3. Ожидаемые изменения годового и сезонного стока в основных речных бассейнах	449
11.2.3.1. Обзор результатов прошлых лет.	450
11.2.3.2. Оценки возможных изменений водных ресурсов на основе новых климатических сценариев	456
11.2.3.3. Обзор результатов исследований по оценке перспективных изменений водного режима	462
11.3. Прогнозные оценки водных ресурсов крупнейших речных бассейнов на основе анализа многолетней структуры гидрологических рядов (А. В. Бабкин)	464
11.3.1. Методы прогноза	464
11.3.2. Прогнозные оценки водных ресурсов речных бассейнов (И. А. Никифорова)	466
11.4. Прогнозные оценки изменений ресурсов подземных вод (Б. В. Боровский)	469
11.5. Ожидаемая в перспективе динамика качества воды (А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. Е. Лобченко, И. П. Ничипорова)	471
11.6. Оценка перспективного водопотребления (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова, К. В. Цыценко)	473
11.6.1. Исходные данные и методический подход.	473
11.6.2. Бассейны рек и регионы России.	481
11.7. Водообеспеченность и нагрузка на водные ресурсы гидроклиматических регионов на 2015–2020 гг. (И. А. Шикломанов, Ж. А. Балонишникова, Р. В. Тремошкина)	484
Литература	486
Глава 12	
МИРОВЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (И. А. Шикломанов).	490
12.1. Обзор результатов исследований	490
12.2. Исходные данные и общие методические подходы оценки возобновляемых водных ресурсов (В. И. Бабкин)	492
12.3. Мировая гидрологическая сеть	494
12.4. Возобновляемые мировые водные ресурсы.	498
12.4.1. Исходные данные и методы оценки, использованные ГГИ (В. И. Бабкин).	498
12.4.2. Речные бассейны (В. И. Бабкин)	501
12.4.3. Континенты и природно-экономические регионы (В. И. Бабкин)	503
12.4.4. Водные ресурсы водохранилищ (Ж. А. Балонишникова)	511
12.4.5. Водные ресурсы отдельных стран мира (В. И. Бабкин)	517
12.5. Приток речных вод в океаны	522
12.5.1. Водные ресурсы и приток речных вод в океаны (В. И. Бабкин)	522
12.5.2. Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан (А. И. Шикломанов)	525
12.6. Водопотребление: современное состояние и тенденции развития (Ж. А. Балонишникова, Н. В. Пенькова)	529
12.6.1. Методика оценки и прогноза водопотребления и водообеспеченности	529
12.6.2. Анализ оценок и прогнозов мирового водопотребления	539
12.6.3. Динамика водопотребления по континентам	541
12.6.4. Динамика водопотребления по природно-экономическим регионам	545

12.6.5. Водопотребление в странах мира . . .	547	12.9. О влиянии антропогенных изменений климата на водные ресурсы и водообеспеченность.	565
12.7. Водные ресурсы, водопотребление и водообеспеченность (Ж. А. Балонишника)	552	12.9.1. Общие положения	565
12.8. Водные ресурсы в начале XXI века в условиях их эффективного использования (Ж. А. Балонишника)	558	12.9.2. Происшедшие изменения гидрометеорологического режима и водных ресурсов	566
12.8.1. Сценарии по проекту «Предвидение Мировых Водных Ресурсов»	558	12.9.3. Прогнозная оценка изменений количества осадков, водных ресурсов и водообеспеченности	568
12.8.2. Сценарий Устойчивого Развития ГПИ	561	12.10. Пути устранения дефицита водных ресурсов	576
12.8.3. Водопотребление, нагрузка на водные ресурсы и водообеспеченность по сценарию Устойчивого Развития	561	Литература	582
		Заключение	587
		Content	594

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая читателю монография посвящена наиболее актуальной проблеме современной гидрологии — оценке динамики водных ресурсов и водообеспеченности территорий и населения субъектов Российской Федерации, федеральных округов и России в целом, гидроклиматических регионов, речных бассейнов и их ожидаемых изменений на перспективу; рассматриваются соответствующие проблемы и в глобальном масштабе — для всех природно-экономических регионов, континентов и избранных стран.

Проблема оценки водных ресурсов и их использования имеет не только особую важность и актуальность с научной точки зрения, но и приобретает в последние десятилетия острый социально-экономический и политический характер, что обусловлено, с одной стороны, возрастанием роли антропогенных факторов, связанных с водопотреблением на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства, а также с воздействием на условия формирования речного стока, а с другой — факторами, вызванными все более заметными изменениями глобального и регионального климата.

Главная цель монографии — обобщить результаты исследований, выполненных за последние два десятилетия в России, и прежде всего в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), и представить объективную количественную оценку водных ресурсов (поверхностных и подземных) с учетом их качества и изменений под влиянием хозяйственной деятельности и климата для различных регионов в современный период и на ближайшую перспективу.

Действующая в ГГИ научная школа по изучению водных ресурсов и их использованию, по оценке водопотребления и водообеспеченности на совре-

менном этапе и на перспективу широко известна в мировом гидрологическом сообществе. За время существования ГГИ (с 1919 г.) и по настоящее время ученые института проводят комплексные исследования, разрабатывают методические подходы и периодически выполняют количественные оценки водных ресурсов и водного баланса территории бывшего СССР и России, которые являются официальной основой расчетов водообеспечения населения и развития водоемких отраслей экономики страны. В течение 50–80-х годов XX столетия усилиями специалистов ГГИ на основании данных наблюдений на гидрологической сети Росгидромета были подготовлены серии монографий по оценке водных ресурсов отдельных регионов нашей страны, основными из которых являются монографии «Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза» (Воскресенский, 1962), «Ресурсы поверхностных вод СССР» (1963; 1971), «Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза» (1967). В 60-е годы прошлого столетия в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности в стране в системе бывших министерств — Минводхоза и Мингео — была создана сеть наблюдений по учету использования поверхностных и подземных вод, что позволило российским ученым совместно выполнять детальные обобщения не только по оценке естественных поверхностных и подземных водных ресурсов, но и по их использованию. На основе этих данных в ГГИ была подготовлена и опубликована справочная монография «Водные ресурсы СССР и их использование» (1987), в которой впервые совместно были представлены данные по уточненным поверхностным и подземным водным ресурсам и их качественным показателям, а также по использованию пресных вод не

только для речных бассейнов, но и для административных регионов, всех союзных и автономных республик, краев и областей, входящих в состав бывшего СССР.

В течение 1970–1974 гг. и 1991–2003 гг. в ГГИ в рамках проектов ЮНЕСКО и ВМО были выполнены комплексные исследования и получены количественные оценки мировых водных ресурсов и их использования, которые были опубликованы ЮНЕСКО в монографиях «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974), «World Water Resources at the Beginning of the 21st Century» (2003) и ВМО в монографии «Water Resources as a Challenge of the Twenty-First Century» (2004). Эти исследования (последние из которых опубликованы только на английском языке) широко известны за рубежом и используются учеными многих стран мира; их основные результаты и выводы в кратком виде приведены и в настоящей монографии.

За последние двадцать лет в России произошли наиболее серьезные изменения основных факторов, определяющих колебания водных ресурсов и их изменение во времени и по территории, — это кардинальные преобразования в социально-экономической сфере и наблюдающиеся изменения климата. Поэтому возникла необходимость новой оценки возобновляемых водных ресурсов, степени их

использования, водообеспеченности территории и населения Российской Федерации и анализа того, что произошло за последние два десятилетия и что можно ожидать в перспективе в условиях развития хозяйственной деятельности и изменений климата. С этой целью в ГГИ совместно с Гидрохимическим институтом Росгидромета (ГХИ) и ОАО «ГИДЭК», созданного на базе института ВСЕГИНГЕО, а также с участием Российского НИИ Водного хозяйства Федерального агентства водных ресурсов такая работа была выполнена в течение 2003–2008 гг. по планам научных исследований Росгидромета и по контрактам с Росводресурсами, результатом которой и явилась настоящая монография

Авторы искренне признательны руководителям Росгидромета и Росводресурсов А. И. Бедрицкому и Р. З. Хамитову за поддержку и внимание к работе по проведению исследований, подготовке и изданию монографии.

Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам по работе, и прежде всего сотрудникам Отдела исследований проблем водопотребления и водообеспеченности ГГИ Р. В. Тремоскиной, Е. В. Головкиной, Л. П. Бабкиной, Р. В. Бочкалю, С. В. Головкиной, В. В. Коваленко и другим за помощь при подготовке монографии к изданию.

PREFACE

The present Monograph deals with the most important problem of modern hydrology of assessing present and future dynamics of water resources and water availability of the territories and population in the subjects of the Russian Federation, Federal Districts and Russia, as a whole, including hydro-climatic regions and river basins. These issues have also been considered on a global scale for all natural and economic regions, continents and selected countries.

Assessing water resources and their use is important not only in terms of science. In recent decades, this problem has acquired sharp social, economic and political aspects. This is stipulated, first, by an increasing role of anthropogenic factors related to water use by population, industry and agriculture, as well as by modifying conditions of river runoff formation, and second, by ever noticeable changes in global and regional climates.

The main goal of the Monograph is to summarize the results of studies conducted during the most recent two decades in Russia, primarily, at the State Hydrological Institute (SHI), and to present an objective estimate of present and future water resources (surface and ground) for different regions, including an estimate of their quality and the modifications caused by anthropogenic activities and climate change.

The world hydrological community has been familiar with the SHI scientific school of studying water resources, assessing present and future water use and water availability. Since 1919, when SHI was established, scientists have been conducting complex studies, developing methodology approaches and assessing periodically water resources and water balance for the territory of the former USSR and Russia. These estimates have served an official basis for estimating water availability for population and development of water-consuming

industries in Russia. In the 1950–80s, SHI scientists prepared a series of monographs estimating water resources in individual regions of Russia based on data of observations at the hydrological network of the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Among these monographs the most important are «The Norm and Variability of Annual Runoff of Rivers of the Soviet Union» (Voskresensky, 1962), «Resources of Surface Waters of the USSR» (1963, 1971), and «Water Resources and Water Balance of the Territory of the Soviet Union» (1967). In the 1960s, due to intense economic activities, the former Ministry of Water Management (Minvodkhoz) and Ministry of Geology (Mingeo) established an observation network to measure the use of surface and ground waters. This made it possible for scientists to assess in detail natural surface and ground water resources and their use as well. Based on the results obtained, SHI issued the reference monograph «USSR Water Resources and Their Use» (1987). For the first time this monograph presented data on verified surface and ground water resources and their quality, as well as on the use of fresh water not only in river basins, but also in administration regions, all the Union and autonomous republics, districts and territories of the former USSR.

In 1970–1974 and 1991–2003, within the frameworks of UNESCO and WMO projects, SHI accomplished complex studies to estimate the world water resources and their use to be published as monographs «World Water Balance and Water Resources of the Earth» (1974), «World Water Resources at the Beginning of the 21st Century» (2003) by UNESCO and «Water Resources as a Challenge of the Twenty First Century» (2004) by WMO. These monographs (the last two to be published in English only) are widely known in the world and used by scientists in many countries. The major results and con-

clusions of these monographs are briefly set forth in the present Monograph.

Due to climate change and drastic socio-economic reorganization in Russia, the major factors determining variations in water resources and their spatial and temporal distribution have sharply modified during the past two decades.

Therefore, a necessity arose for a fresh estimate of renewable water resources, an extent of their use, water availability of the territory and population of the Russian Federation beginning with the analysis of what has happened during the most recent two decades and what is to expect in the nearest future under the conditions of developing economy and climate change. For this purpose during 2003–2008 SHI and Hydrochemical Institute of Roshydromet and Company «GIDEK» (former All-Russia Research Institute for Hydrogeology and Engineering Geology) with participation of the Russian Research Institute for Water Management and Protec-

tion of the Russian Federal Agency for Water Resources (Roswodresources) have performed the studies based on the scientific research activity planned by Roshydromet and the contracts with Roswodresources. The result of these studies is the present Monograph.

The authors express their sincere gratitude to Mr. Alexander I. Bedritsky, Head of Roshydromet, and Mr. Rustem Z. Khamitov, Head of Roswodresources for overwhelming support and attention to research work and preparation for publication of the Monograph.

The authors also express their sincere gratitude to their colleagues at the SHI and, first of all at the Water Use and Water Availability Research Department Mrs. R. . Tremoskina, Mrs. Y. V. Golovkina, Mrs. L. P. Babkina, Mr. R. V. Bochkal', Mrs. S. V. Golovkina, Ms. V. V. Kovalenko and others for their contribution while preparing the manuscript of the Monograph for publication.

Глава I (вводная)

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ — ОСНОВА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Вода на нашей планете занимает особое место и является одним из наиболее распространенных веществ; в разном качестве и том или ином виде она находится повсюду и играет огромную роль в жизни человека и окружающем нас мире. Особенно велика роль пресной воды. С одной стороны, это важнейший природный ресурс, без которого невозможна никакая деятельность человека и сама жизнь, и который нельзя ничем заменить. С другой — вода — неотъемлемая часть всей природы и главный компонент окружающей нас среды. Наконец, вода — самая грозная природная стихия, приносящая большие разрушения и бедствия.

Таким образом, человек не может не потреблять и не использовать воду, и в то же время он должен сохранять и беречь ее, чтобы не нарушать баланса в окружающей среде; при этом нужно бороться с водой и защищаться от нее, как от очень грозной и опасной стихии. Столь многогранная роль воды обуславливает большую сложность комплексной проблемы взаимодействия человека с водной средой, которая имеет очень много особенностей для различных стран и регионов и претерпевает существенные изменения по мере развития человеческого общества и роста производительных сил и изменения климатических условий.

Настоящая монография посвящена только одному аспекту комплексной водной проблемы — пресной воде как ценнейшему природному ресурсу, от которого во многом зависит развитие человеческого общества; главным образом эта проблема рассматривается для условий России с ее огромной территорией и специфическими особенностями социально-экономического развития.

Следует отметить, что в наше время, к началу XXI в., проблема водных ресурсов становится одной

из самых важных мировых научно-технических проблем. Ее решение требует все больших усилий и средств; эта проблема уже вышла за национальные рамки и приобрела глобальный характер, поскольку она непосредственно касается миллиардов людей, проживающих на нашей планете.

Человек всегда потреблял пресную воду и использовал в своих целях водные объекты, однако в течение многих сотен лет влияние его деятельности на водные ресурсы было очень незначительным и имело узлокальный характер. Уникальная способность природных вод — их самоочищение при переходах из одного агрегатного состояния в другое и возобновление в процессе круговорота, позволяли в течение долгого времени сохранять практически неизменными количественные характеристики водных ресурсов, относительную чистоту и качество воды в водных объектах. Это порождало известную иллюзию неизменности и неисчерпаемости водных ресурсов, которые стали рассматриваться как бесплатный дар природы. В этих условиях исторически сложилась традиция беззаботного отношения к использованию водных ресурсов, концепция минимальных затрат для очистки использованных вод и охраны водных объектов.

До 1950-х гг. негативное влияние хозяйственной деятельности на природу было не столь значительным, и природа либо во многом сама справлялась с последствиями, либо эти последствия, ввиду их незначительности, слабо отражались на водных объектах. Во всяком случае, как показывают многочисленные примеры исследования влияния хозяйственной деятельности на сток самых разных рек на территории бывшего СССР (Шикломанов, 1979), примерно до 1950–1955 гг. заметных антропогенных изменений их режима обнаружить не

удавалось, и в те годы проблема влияния хозяйственной деятельности на сток рек, естественно, не была столь актуальной и представляла, в основном, чисто научный интерес. Причем это касалось не только количественных характеристик речного стока, но и загрязнения крупных рек, качества природных вод.

Во второй половине XX столетия ситуация коренным образом изменилась: во всем мире, включая и Россию, началась интенсивная деградация природной среды. Этому способствовало резкое увеличение объемов водопотребления и сбросов в водные объекты неочищенных сточных вод, обусловленное, главным образом, интенсивным развитием производственных сил во всех сферах экономики, вызванным техническим прогрессом в результате научно-технической революции (Калинин, Шикломанов, 1974; Шикломанов, 1989).

Особенностью промышленного водопотребления начиная с 1950–1960-х гг. является возрастание роли водоемких отраслей промышленности — тепловой и атомной энергетики, производства синтетических волокон, пластмасс, целлюлозы, нефтехимических материалов, что обуславливает резкое увеличение водозабора и соответственно сбросов в речную сеть больших объемов сточных вод.

В этот же период особенно интенсивно увеличиваются площади орошаемых земель в мире, также требующие огромного количества пресной воды; за десятилетие с 1951 по 1960 г. орошаемые площади увеличились на 41 млн га, в то время как за предшествующие 50 лет рост составил всего 50 млн га. Значительному увеличению объемов безвозвратного водопотребления за счет дополнительного испарения с водной поверхности в районах недостаточного увлажнения способствовало и интенсивное строительство водохранилищ. После 1950-х гг. созданы все крупнейшие водохранилища мира объемом более 50 км³, что привело к увеличению общего объема и площади водной поверхности водохранилищ (и, соответственно, росту дополнительных потерь на испарение) в десятки раз. Как известно, водохранилища не только увеличивают испарение, но и способствуют повышению загрязнения пресных вод за счет увеличения периода водообмена воды в русловой сети и замедлению процессов самоочищения.

В результате интенсивного роста водопотребления в совокупности с преобразованием поверхности речных водосборов уже в 1970-е гг. в большинстве регионов и стран мира практически не осталось

крупных речных систем, в той или иной степени не затронутых хозяйственной деятельностью человека. При этом во многих густонаселенных регионах хозяйственная деятельность достигла таких масштабов, что стала оказывать значительное влияние не только на качество вод и гидрологический режим, но и на суммарные водные ресурсы больших речных бассейнов и стран и даже в какой-то степени на глобальный влагооборот и климат, и с каждым годом это воздействие становилось все более значительным (Шикломанов, Маркова, 1987). Особенно это касается засушливых регионов с ограниченными естественными водными ресурсами и с интенсивным приростом численности населения, где в результате хозяйственной деятельности водные ресурсы из-за ухудшения качества и количественного истощения уже не могут удовлетворять все возрастающие потребности в них и становятся фактором, сдерживающим дальнейшее развитие экономики и рост благосостояния населения. Это в полной мере характерно и для ряда регионов бывшего СССР и России, которая в целом относится к богатейшим странам мира по величине водных ресурсов.

В этих условиях для решения проблем современного и перспективного водообеспечения населения, промышленности и сельского хозяйства, разработки мероприятий по охране окружающей среды особенно требуются надежные, детальные оценки водных ресурсов, исследования процессов их формирования, изменчивости в пространстве и во времени — и не только за счет естественных факторов, но и в результате различных видов хозяйственной деятельности, в том числе на ближайшую и достаточно удаленную перспективу.

Начиная с 1980-х гг. актуальность надежной оценки водных ресурсов и их прогнозируемых на будущее изменений под влиянием хозяйственной деятельности еще более возросла в связи с реально возникшей проблемой антропогенных изменений глобальных и региональных климатических характеристик, обусловленных ростом концентрации в атмосфере углекислого и других, так называемых парниковых газов. Эти изменения уже имеют место (во многих регионах весьма существенные), а прогнозируемые климатологами к середине текущего столетия ожидаются столь значительные (IPCC, 2001; 2007), могут привести к масштабным преобразованиям гидрологического цикла, изменениям водных ресурсов и их использования, распределения во времени и по территории, экстремальных

характеристик речного стока и их изменчивости. Все это нельзя не учитывать при разработке долгосрочных планов комплексного использования и охраны водных ресурсов, при проектировании долгосрочных водохозяйственных мероприятий для решения проблем водообеспечения и защиты от вредного воздействия вод.

Указанные проблемы особенно актуальны для территории России, которая по своему физико-географическому положению находится в зоне наибольших прогнозируемых на перспективу и происшедших за последние два десятилетия изменений климата. Причем эти изменения произошли в условиях хорошо известных кардинальных преобразований в социально-экономической сфере, которые также оказывают немалое влияние на формирование водных ресурсов, водопотребление и водообеспеченность, режим водных объектов.

Для характеристики водных ресурсов того или иного бассейна, региона или страны в целом обычно используют два понятия: статические (или вековые) запасы пресной воды и возобновляемые водные ресурсы. Эти два вида водных ресурсов тесно связаны между собой процессом круговорота воды в природе, или гидрологического цикла, но они резко различаются по продолжительности периода полного возобновления.

К *статическим* запасам условно относят те виды пресных вод, которые имеют период полного возобновления, исчисляемый многими десятилетиями, столетиями и даже тысячелетиями (большие озера, горные ледники, глубокие подземные воды, льды вечной мерзлоты). Их интенсивное хозяйственное использование неизбежно приводит к истощению запасов и неблагоприятным экологическим последствиям, нарушению веками установившегося равновесия в природе, на восстановление которого могут потребоваться десятки и сотни лет. Поэтому обычно они используются только в исключительно важных обстоятельствах.

К *возобновляемым* водным ресурсам относятся пресные воды, которые в течение года многократно возобновляются в процессе гидрологического цикла. Интегральной характеристикой возобновляемых водных ресурсов является речной сток с его подземной составляющей. Как известно, в среднем для Земного шара период полного возобновления воды, находящейся в руслах рек, составляет примерно всего 16 суток.

Практически во всех странах мира именно по характеристикам речного стока оцениваются вели-

чина возобновляемых водных ресурсов, их динамика во времени и распределение по территории. Сток речных систем, имеющих повсеместное распространение по территории суши, как правило, обеспечивает основной объем мирового водопотребления, определяет степень водообеспеченности территории и населения, избыток и дефицит водных ресурсов. Речной сток не только формирует основной объем возобновляемых водных ресурсов территории суши, но и в процессе круговорота в значительной мере восстанавливает качество пресной воды за счет процессов естественного самоочищения, которыми обладают речные системы.

К возобновляемым водным ресурсам относятся и ежегодно возобновляемые подземные воды верхних водоносных горизонтов, которые не дренируются речными системами и непосредственно поступают в крупные озера и моря. Хотя объем этих вод невелик по сравнению с объемом речного стока, они имеют огромное значение для отдельных водопотребителей (например, питьевое водоснабжение) или для некоторых специфических регионов.

Исходя из вышеизложенного, в настоящей монографии основное внимание уделяется проблемам оценки возобновляемых водных ресурсов России, их распределению по территории и изменениям во времени (в том числе на перспективу), анализу качества и динамики использования на различные хозяйственные нужды.

Исследования водных ресурсов России производились еще в дореволюционное время; тогда при крайней недостаточности гидрологических данных для оценки водных ресурсов использовалась более полная метеорологическая информация. В этом случае возобновляемые водные ресурсы (среднегодовой сток рек) оценивались или на основе отыскания зависимостей от осадков, температуры воздуха и других метеорологических характеристик или путем расчета по норме осадков и испарения непосредственно по уравнению многолетнего водного баланса. В последнем случае для практических расчетов потребовалось разработать надежную методику определения нормы суммарного испарения с суши. Наиболее фундаментальное решение этого вопроса в самом начале прошлого столетия было найдено немецким ученым Р. Шрейбером (Schreiber, 1904) и известным русским ученым Э. М. Ольдекопом (Ольдекоп, 1911), которые впервые предложили расчетные формулы для оценки нормы испарения в различных физико-географических условиях.

Особенно большое значение имели исследования Э. М. Ольдеккопа, не потерявшие значения до настоящего времени; им было составлено нелинейное уравнение для расчета нормы испарения в зависимости от осадков и испаряемости. Методика расчета испарения по Э. М. Ольдеккопу в течение многих десятилетий применялась в различных странах, оставаясь практически без изменений, а в дальнейшем получила развитие в работе М. И. Будыко (Будыко, 1947), который впервые предложил использовать для расчета испаряемости отношение радиационного баланса увлажненной поверхности к удельной теплоте испарения, увязав таким образом уравнения водного и теплового балансов. Метод Будыко, усовершенствованный впоследствии Л. И. Зубенком (Зубенок, 1976) до настоящего времени широко используется для расчета не только среднесезонных характеристик, но и суммарного испарения с речных бассейнов за отдельные годы и сезоны.

Несмотря на прогресс, достигнутый в расчетах суммарного испарения, методы оценки возобновляемых водных ресурсов по метеорологическим данным, как показал многолетний опыт их применения в различных физико-географических условиях, не могут дать надежных результатов и почти непригодны для практических расчетов, особенно для стран и регионов с ограниченными водными ресурсами.

Причин здесь несколько. Во-первых, из-за малой точности они неприменимы для аридных и семиаридных территорий, где речной сток очень мал и по абсолютной величине близок к погрешности определения испарения и осадков, а также для регионов, где нет надежно измеренных осадков. Во-вторых, с помощью этих методов практически невозможно оценить водные ресурсы за каждый конкретный год (тем более за сезон и месяц), а эти данные крайне необходимы для современного планирования использования водных ресурсов. Помимо этого указанные методы непригодны для оценки водных ресурсов для регионов и стран, расположенных в бассейнах международных рек, когда значительный объем речного стока не формируется на рассматриваемой территории, а приходит извне.

Перечисленные недостатки оценки водных ресурсов территорий по метеорологическим данным хорошо сознавали ученые ГГИ, которые еще в 1920-х гг. поставили вопрос об использовании для этой цели непосредственно данных гидрологиче-

ских наблюдений и в связи с этим о настоятельной необходимости интенсивного развития гидрологической сети в стране.

Впервые конкретные предложения об использовании данных о стоке рек для оценки водных ресурсов территорий были рассмотрены на Первом Всероссийском гидрологическом съезде в 1924 г. Несколько позднее, в 1927 г., известным российским гидрологом Д. Н. Кочериным по данным наблюдений на 34 гидростворах были впервые оценены водные ресурсы Европейской части нашей страны (СССР), которые, однако, оказались весьма неточными из-за явной недостаточности данных гидрологических наблюдений (Кочерин, 1927). Проблема надежности оценки водных ресурсов оказалась напрямую связана с развитием гидрологической сети.

Интенсивный рост числа гидрологических станций и постов в нашей стране начался в 1920-е гг. Уже к 1929 г. число их почти в 2,5 раза превысило дореволюционный уровень. К 1940 г. общее число постов на реках (включая уровенные) достигло 5800; таким образом, дореволюционный уровень был превышен в 4 раза по общему количеству постов, а по числу створов, учитывающих сток воды, в 10 раз.

По мере развития общегосударственной гидрологической сети существенно уточнялись данные по водным ресурсам для отдельных регионов, и в 1937 г. в ГГИ впервые по данным наблюдений по 1280 гидростворам были оценены суммарные возобновляемые водные ресурсы для всей страны (СССР) в целом; они составили 3750 км³/год (Зайков, Белинков, 1937).

В 1946 г. Б. Д. Зайковым с учетом более полных материалов наблюдений (2360 гидростворов) и усовершенствованной методики расчета величины водных ресурсов страны оценивались уже в 3940 км³/год.

Следующее уточнение водных ресурсов страны было выполнено в ГГИ в 1962 г., для чего использовались данные уже по 5690 створам (Воскресенский, 1962). По данным ученого, суммарный годовой сток рек СССР составил 4480 км³/год. Несколько позднее в ГГИ была опубликована монография «Водные ресурсы и водный баланс территории СССР» (1967), где впервые были приведены наиболее полные данные по водным ресурсам не только речных бассейнов, но и союзных республик, а также других административных территорий.

Опыт ученых ГГИ в оценке возобновляемых водных ресурсов по данным наблюдений гидроло-

гической сети в полной мере был использован при подготовке капитальной монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974), где были выполнены научные обобщения в глобальном масштабе и впервые представлены данные по годовым величинам возобновляемых водных ресурсов по всем континентам Земли за период с 1918 по 1967 г. В подготовке указанной уникальной монографии, которая переведена на английский язык и до настоящего времени не потеряла своей научной ценности и широко используется специалистами различных стран, помимо ученых ГГИ принимали участие ученые Главной Геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО), Арктического и Антарктического института Росгидромета (ААНИИ) и Института водных проблем Российской Академии наук (ИВП РАН). Важно отметить, что в монографии наряду с обобщением и анализом данных по водным ресурсам и водному балансу впервые представлены уникальные данные по динамике использования пресной воды различными водопотребителями на каждом континенте за период с 1900 по 1970 г. и с оценкой на перспективу до 2000 г. (Калинин, Шикломанов, 1974).

В нашей стране более или менее надежные данные по водопотреблению различными водопотребителями имеются начиная с 1960-х гг., когда была организована государственная сеть наблюдений по учету использования поверхностных и подземных вод. Такая сеть была создана в системе бывших союзных министерств — Минводхоза, Минэнерго и Мингео; теперь это Министерство природных ресурсов (МПР) и входящие в его состав федеральные агентства Росводресурсы и Роснедра. Уже в 1980-е гг. учет использования вод охватывал около 200 тыс. объектов, а сеть наблюдений за режимом подземных вод насчитывала около 37 тыс. пунктов, что позволило российским ученым сделать детальные обобщения не только по оценке естественных водных ресурсов (поверхностных и подземных), но и по их использованию. Вместе с этим в 1970—1980-е гг. в ГГИ были развернуты комплексные исследования по изучению влияния различных видов хозяйственной деятельности на водные ресурсы основных речных бассейнов страны с количественной оценкой происшедших и возможных их изменений в перспективе при осуществлении планируемых в тот период долгосрочных широкомасштабных водохозяйственных мероприятий, включая межбассейновые переброски стока; основные результаты этих исследований опубликованы в хо-

рошо известных специалистам монографиях (Шикломанов, 1979; 1989).

В 1987 г. Росгидрометом с использованием данных перечисленных выше министерств в составе Государственного водного кадастра было опубликовано справочное издание «Водные ресурсы СССР и их использование», где впервые представлены детальные данные не только по уточненным поверхностным и подземным водным ресурсам и их качественным показателям, но и по использованию пресных вод. Указанные справочные данные, рассчитанные в основном за период по 1980 г., до настоящего времени широко используются самыми различными научными и проектными организациями страны.

Практически в то же время в ГГИ была подготовлена и опубликована научная монография по проблемам водообеспечения в мире (Шикломанов, Маркова, 1987), где были представлены уточненные данные по динамике использования пресных вод в 26 природно-экономических регионах мира за период с 1900 по 1980 г. с прогнозной оценкой величин водопотребления и водообеспеченности на 1990 и 2000 гг. При этом величины среднесовокупных возобновляемых водных ресурсов по регионам были оценены приближенно на основании данных по континентам, представленных в монографии 1974 г. (Мировой... 1974).

Новое глобальное обобщение по водным ресурсам и их использованию в рамках проекта Международной гидрологической программы (МГП) ЮНЕСКО было выполнено учеными ГГИ в период с 1991 по 1998 г. Основные результаты работы были представлены в капитальной монографии «Мировые водные ресурсы на рубеже XXI века», которая вышла в свет в 2003 г. на английском языке в издательстве Кембридж Университет Пресс (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003). В монографии на основе использования данных мировой гидрологической сети и новых методических подходов были приведены уточненные характеристики возобновляемых водных ресурсов за единый многолетний период (1918—1985) для всех природно-экономических регионов мира, континентов, избранных стран, а также по притоку в океаны. Вместе с данными по водным ресурсам был выполнен анализ использования пресных вод в мире за период XX столетия с приближенной оценкой на перспективу до 2025 г. водопотребления и водообеспеченности для природно-экономических регионов и избранных стран мира.

В последующие годы (1999–2003) по Программе по гидрологии и водным ресурсам ВМО учеными ГГИ было подготовлено новое обобщение по мировым водным ресурсам, в котором наряду с широким использованием данных, приведенных в указанной выше работе, были представлены результаты исследований, полученные в самые последние годы: по проблеме получения и обмена гидрологическими данными и состоянию мировой гидрологической сети, по оценке влияния водохранилищ на водные ресурсы и водопотребление в глобальном масштабе, по разработке новых сценариев динамики мирового водопотребления и водообеспеченности и оценке ожидаемых последствий, по влиянию глобального потепления на водные ресурсы, по анализу возможных путей устранения дефицита пресных вод в различных странах и регионах мира. Основные результаты этого исследования были представлены директором ГГИ проф. И. А. Шикломановым на 14-й сессии Всемирного метеорологического конгресса в 2003 г. в виде лекции «Водные ресурсы — проблема XXI века» и в полном объеме опубликованы на английском языке в монографии (Shiklomanov, 2004).

Важно отметить, что все выполненные до настоящего времени (с 1967 по 2003 г.) обобщающие оценки водных ресурсов для территории нашей страны и в глобальном масштабе рассматривают их динамику в условиях стационарной климатической ситуации. Это в полной мере относится и к упомянутым выше, выполненным в последние годы, оценкам водообеспеченности в мире на перспективу 2010–2025 гг., по которым предполагается, что процессы глобального потепления климата в течение ближайших двух десятилетий не смогут заметно сказаться на величинах водных ресурсов и водообеспеченности крупных природно-экономических регионов мира и тем более континентов.

В настоящей монографии впервые сделана попытка оценить применительно к различным регионам России динамику во времени различных характеристик водных ресурсов (поверхностных и подземных), качества воды, водопотребления различными потребителями и водообеспеченности за последние десятилетия и на ближайшую перспективу в условиях изменений климата и хозяйственной деятельности на водосборах.

Как известно, колебания расходов и уровней воды в реках, а следовательно, и возобновляемых водных ресурсов, определяются двумя основными факторами — изменениями климата и хозяйственной дея-

тельностью человека. В последние десятилетия оба эти фактора для территории нашей страны претерпели очень серьезные изменения. Прежде всего это касается климата. Так, приведенные на рис. 1.1 и 1.2 изменения средней глобальной температуры воздуха у поверхности Земли за период с 1850 г., указывают на довольно четко выраженную тенденцию потепления климата. За последние 100 лет (1906–2005 гг.) температура увеличилась почти на $0,74^{\circ}\text{C}$. При этом наибольшее потепление имело место начиная с 1980-х гг., а за последние 12 лет в течение 11 лет температура была самой высокой за весь период наблюдений (IPCC, 2007).

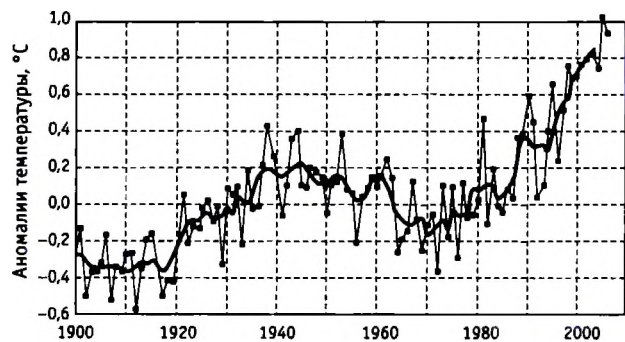


Рис. 1.1. Изменение температуры воздуха для северных широт ($90^{\circ}\text{с. ш.} - 23,6^{\circ}\text{с. ш.}$)

Наблюдающееся потепление климата не было равномерным по всей поверхности суши. Территория России относится к регионам, которые испытывают наиболее значительное повышение температуры. По данным российских климатологов, средняя годовая температура воздуха в России за последние 100 лет повысилась на $1,5^{\circ}\text{C}$, а за холодный период года — примерно на $2,5^{\circ}\text{C}$, т. е. в два раза больше, чем в среднем для Земли.

Примерно в тот же период, т. е. за последние 20 лет, в нашей стране в результате перестройки произошли кардинальные изменения в промышленности и сельском хозяйстве, что не могло не сказаться на проблемах водопотребления и водообеспеченности, на процессах влияния хозяйственной деятельности на гидрологический режим и водные ресурсы.

В связи с вышесказанным, крайне важно разобраться, что же произошло с водными ресурсами и водообеспечением в стране за последние 20–25 лет в условиях нестационарной климатической ситуации и кардинальных изменений хозяйственной деятельности на водосборах.

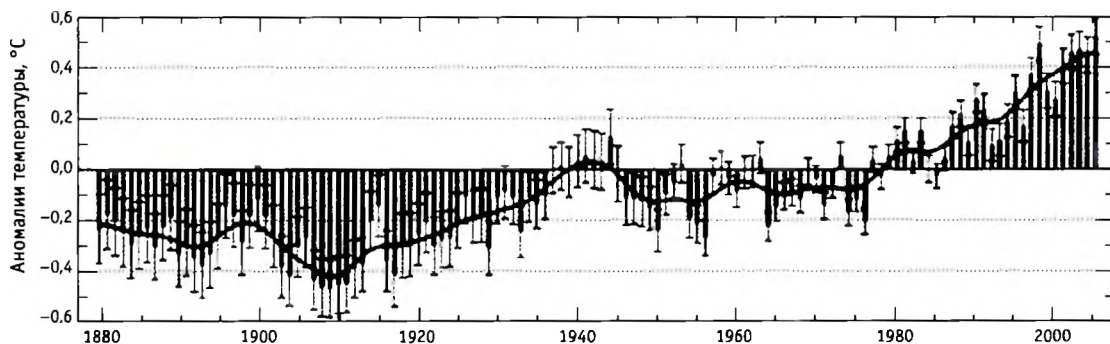


Рис. 1.2. Глобальное изменение температуры

При этом следует иметь в виду, что характеристики водных ресурсов очень чувствительны даже к незначительным изменениям климата и немедленно реагируют на них, поэтому уже в настоящее время имеется реальная возможность оценить по данным наблюдений происшедшие гидрологические последствия изменений климата, что дает хорошую основу и для прогноза этих процессов на ближайшее будущее.

В совокупности с анализом происшедших изменений в динамике водопотребления, воздействия других видов хозяйственной деятельности, при наличии прогнозов развития экономики и численности населения возможно приближенно дать комплексную оценку на ближайшую перспективу водобеспеченности и нагрузки на водные ресурсы в различных регионах страны в условиях изменений климата и хозяйственной деятельности.

Для решения этой задачи все оценки и анализ различных характеристик водных ресурсов, их использования и влияния на них различных факторов хозяйственной деятельности рассматриваются в монографии отдельно за два периода.

Первый период — период стационарного климата и стабильного социально-экономического развития — с начала массовых гидрологических наблюдений, т. е. с 1930-х гг. до начала 1980-х гг.

Второй период — последние 20–25 лет — в условиях интенсивного изменения климата и кардинальной перестройки социально-экономической ситуации в стране.

Представляется, что для российских ученых и специалистов — проектировщиков, работающих в области гидрологии и водного хозяйства, такой подход особенно важен, поскольку в их практической деятельности в условиях современной ситуации в нашей стране наиболее доступна гидрологическая информация по 1980–1985 гг.

В представленной монографии в обобщающем виде приведены итоги исследований, выполненных в ГГИ и в других организациях (ГХИ, ГИДЭК) за последние два десятилетия, по оценке водных ресурсов России (поверхностных и подземных), их распределению по территории и динамике во времени, использованию и качеству, водобеспеченности, по влиянию различных видов хозяйственной деятельности и изменений климата на водные ресурсы речных бассейнов и регионов в современных условиях и ожидаемых в ближайшей перспективе.

Монография состоит из 12 глав, включая настоящую (*первую*) главу, являющуюся вводной, заключения и списка литературы в конце каждой главы.

В последующих *трех главах* (гл. 2, 3, 4) приводятся современные сводные данные о физико-географических условиях и гидрографии территории РФ, об особенностях формирования водных ресурсов в процессе гидрологического цикла, о распределении по территории основных компонентов гидрологического цикла — осадков, испарения, стока, о составе вод гидросферы и периодах их возобновления. Представлены уточненные сведения о вековых запасах воды на территории нашей страны, сосредоточенных в озерах и водохранилищах, в руслах рек, в болотах, в почвах, в подземных горизонтах, во льдах полярных районов и в горных ледниках, в атмосфере, указывается период их полного возобновления, четко определяются понятия статических запасов пресной воды и возобновляемых водных ресурсов, и приводятся принципиальные различия и возможности их хозяйственного использования.

В пятой главе рассматриваются водные ресурсы речных водосборов и бассейнов морей России: анализ исходных данных и описание методов оценки годового, сезонного и месячного стока рек; приводятся величины годового и сезонного стока по основным речным бассейнам, анализируется их мно-

голетняя изменчивость, тенденции и тренды. Анализируются изменения по территории страны характеристик годового и сезонного стока средних речных водосборов, не затронутых хозяйственной деятельностью, за периоды стационарной климатической ситуации (до 1980 г.) и за последние 25 лет в условиях потепления климата. Представлены данные по водным ресурсам бассейнов морей, омывающих территорию страны, их внутригодовому распределению, многолетней изменчивости, наличию трендов, взаимной синхронности и асинхронности колебаний.

В шестой главе рассматриваются водные ресурсы озер России, их типы и распределение по территории, характеристики водного режима и водного баланса, особенности использования и значения для социально-экономического развития и окружающей среды. Приводятся сведения о динамике уровней крупнейших озер в условиях потепления климата и изменений хозяйственной деятельности в их бассейнах.

Седьмая глава посвящена оценке качества поверхностных вод, которая в основном базируется на многолетних данных Государственной сети наблюдений за качеством воды (ГСНК). Рассматриваются исходные данные и методические аспекты по определению показателей качества воды, критерии оценки загрязненности вод, использования интегральных показателей. Приводятся данные по оценке качества воды по основным речным бассейнам, дается анализ изменений показателей качества за многолетний период.

В восьмой главе представлены данные по возобновляемым подземным водным ресурсам; рассматриваются современное состояние изучения и методы оценки ресурсов подземных вод и их использования, гидрологическое районирование территории России и защищенность подземных вод от загрязнения. Дается характеристика естественных и прогнозных ресурсов подземных вод, их динамика во времени и распределение по территории — по гидрологическим районам, крупнейшим речным бассейнам и субъектам РФ. Приводится методика картирования прогнозных и эксплуатационных ресурсов, а также модулей прогнозных ресурсов подземных вод; представлен качественный состав подземных вод и характеристика основных гидрогеохимических провинций на территории России; рассматривается использование подземных вод и состояние обеспечения населения для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Девятая глава посвящена проблемам влияния хозяйственной деятельности на гидрологический режим и водные ресурсы речных бассейнов. Дается классификация видов хозяйственной деятельности и рассматриваются методические подходы к оценке их влияния на гидрологические характеристики; анализируются динамика и тенденции развития в России водопотребления на различные хозяйственные нужды и водоотведения, сооружение водохранилищ и их воздействия на регулирование речного стока и на общие водные ресурсы, оценивается роль в изменении водных ресурсов антропогенных факторов, действующих на водосборах (лесотехнические и агротехнические мероприятия, осушительная мелиорация, урбанизация).

Отдельный раздел посвящен анализу антропогенных факторов, связанных с возможными изменениями климата за счет воздействия на характеристики влагооборота и на газовый состав атмосферы. В заключительной части главы представлены современные оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на водные ресурсы речных бассейнов России и дается анализ прогнозных оценок, которые были выполнены в ГГИ в 1970–1980-е гг.

В десятой главе представлены данные по динамике водных ресурсов и водообеспеченности субъектов и федеральных округов РФ и страны в целом. Рассматриваются методические подходы оценки водных ресурсов (поверхностных и подземных), их качества, водопотребления и водообеспеченности, степени использования водных ресурсов применительно к административным регионам; приводятся данные по динамике указанных характеристик за многолетний период для всех субъектов РФ и федеральных округов, дается их классификация по количественным и качественным показателям поверхностных и подземных водных ресурсов, водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы. В последней части главы дается оценка изменений водных ресурсов и водообеспеченности за многолетний период для России в целом.

Одиннадцатая глава посвящена оценке ожидаемых изменений водных ресурсов РФ в ближайшем будущем (на уровень 2015–2020 гг.) в условиях возможных изменений климата и хозяйственной деятельности. Анализируются факторы хозяйственной деятельности, влияющие на речной сток и водные ресурсы по данным наблюдений за последние десятилетия и с оценкой на перспективу,

приводятся методические подходы и прогнозы оценки изменений стока крупных рек на основе климатических сценариев глобального потепления и с использованием новых методов учета периодичностей в многолетней структуре гидрологических рядов; представлены прогнозные оценки подземных вод по субъектам РФ и ожидаемые в перспективе изменения качества воды по бассейнам рек и регионам. Рассмотрены также прогнозные оценки водных ресурсов, водопотребления, водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы по речным бассейнам и субъектам федерации на 2015–2020 гг.; выполнен анализ полученных результатов, предложений и рекомендаций по адаптации и снижению возможных негативных последствий.

В двенадцатой главе приводятся краткие сведения о мировых возобновляемых водных ресурсах, их использованию, динамике во времени и распределению по территории — по природно-экономическим регионам, странам и континентам. Эти данные главным образом базируются на комплексных исследованиях ГГИ за последние 15 лет, выполненных в рамках международных гидрологических программ ЮНЕСКО и ВМО. Результаты этих исследований опубликованы за рубежом в 2003–2004 гг. в монографиях (Shiklomanov, Rodda, ed. 2003; Shiklomanov, 2004) на английском языке и практически недоступны российскому читателю. Рассматриваются исходные данные, предпосылки и методические подходы оценки мировых водных ресурсов; приводится динамика возобновляемых водных ресурсов во времени за многолетний период, анализируется их изменчивость, наличие тенденций и трендов, распределение по регионам и континентам.

Представлены данные по использованию пресных вод различными водопотребителями в глобальном масштабе и водообеспеченности по природно-экономическим регионам в динамике за период XX столетия и на перспективу 2010–2025 гг. по различным сценариям развития водопотребления. Анализируются данные по сооружению водохранилищ в мире за многолетний период, по их влиянию на безвозвратное водопотребление в различных регионах. Приводится сравнение динамики водных ресурсов, принципов и тенденций их использования, а также водообеспеченности в России и в других крупнейших странах мира с различным уровнем социально-экономического развития.

Монография подготовлена большим коллективом ученых и специалистов ГГИ, ОАО «ГИДЭК» и ГХИ; научный руководитель — директор ГГИ, проф. И. А. Шикломанов; ответственные исполнители от ГГИ: д-р геогр. наук В. И. Бабкин, канд. геогр. наук Ж. А. Балонишникова, д-р геогр. наук В. Ю. Георгиевский, ответственный исполнитель от ОАО «ГИДЭК» — проф. Б. Г. Боревский; ответственный исполнитель от ГХИ — чл.-корр. РАН А. М. Никаноров. Авторы отдельных глав и разделов монографии указаны в оглавлении.

Литература

- Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. — Л.: Гидрометеиздат, 1947. — 136 с.
- Водные ресурсы и водный баланс территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 199 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 301 с.
- Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 548 с.
- Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. — Труды НИУ ГУГМС. — Сер. IV. — 1946. — Вып. 24. — 43 с.
- Зайков Б. Д., Белингов С. Ю. Среднегодовое стока рек СССР // Труды ГГИ. — 1937. — Вып. 2. — 50 с.
- Зубенко Л. И. Испарение на континентах. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 264 с.
- Калинин Г. П., Шикломанов И. А. Использование водных ресурсов Земли // Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — С. 575–606.
- Кочерин Д. И. Средний многолетний годовой и месячный сток в Европейской части Союза. — Труды МИИТ. — 1927. — Вып. 6. — С. 10–26.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / Под ред. В. И. Корзуна. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 638 с.
- Ольдекоп Э. М. Об испарении с поверхности речных бассейнов. — Юрьев, 1911. — 209 с.
- Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 300 с.
- Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 334 с.
- Шикломанов И. А., Маркова О. Л. Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 294 с.
- IPCC. Climate Change: The Science of Climate Change / Ed. J. T. Houghton. — Cambridge: UK, 2001.

IPCC. Fourth Assessment Report. Working Group I. Climate Change. The Physical Science Basis. — Presented on IPCC Conference in Paris. — 02 February, 2007.

Schreiber R. Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. Mteer. E. — 1904. — S. 3–22.

Shiklomanov I. A. Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO Lecture WMO. — N 959. — 2004. — P. 13–146.

Shiklomanov I. A., Rodda J. (eds.) World Water Resources of the Beginning of the 21st Century. UNESCO. — Cambridge University Press, 2003. — 436 p.

Глава 2

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГИДРОГРАФИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Современное государство Российская Федерация образовано в 1991 г. после распада Советского Союза. До 1991 г. на месте этого государства находилась крупнейшая союзная республика РСФСР (Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика), входившая в состав Союза Советских Социалистических Республик. РСФСР была образована 7 ноября 1917 г. (Большая Советская Энциклопедия, 1975, т. 22).

Современная Российская Федерация (Россия) на северо-западе граничит с Норвегией и Финляндией, на западе — с Польшей, на юго-востоке — с Китаем, Монголией и КНДР, а также с рядом бывших союзных республик, входивших в состав СССР: на западе — с Эстонией, Латвией, Литвой и Белоруссией, на юго-западе — с Украиной, на юге — с Грузией, Азербайджаном и Казахстаном.

Российская Федерация омывается морями трех океанов: Северного Ледовитого, Тихого и Атлантического. Северная и восточная границы России — морские. Морские границы проходят также на юге по Чёрному, Азовскому и Каспийскому морям.

От северной береговой линии нашего государства до Северного полюса простирается Российский сектор Северного Ледовитого океана — группа арктических островов и водных пространств части океана и его морей. Эта территория ограничена на западе и востоке условными линиями, идущими от полуострова Рыбачий и о. Ратманова к Северному полюсу.

Российская Федерация занимает большую часть Восточной Европы и всю Северную Азию. Протяженность ее территории в меридиональном направлении колеблется от 2,5 до 4,0 тыс. км, а в широтном

достигает 9,0 тыс. км (Мильков, Гвоздецкий, 1969; Гвоздецкий, Михайлов, 1970; Тушинский, Давыдова, 1976). Самая западная точка территории нашего государства ($19^{\circ} 38'$ в. д.) находится на границе с Польшей, на песчаной косе Гданьского залива Балтийского моря, а крайняя восточная — на о. Ратманова в Беринговом проливе ($169^{\circ} 02'$ з. д.). Самая северная точка Российской Федерации на ее материковой части находится на мысе Челюскин ($77^{\circ} 43'$ с. ш.), а на островах — на мысе Флигели на острове Рудольфа архипелага Земля Франца-Иосифа ($81^{\circ} 51'$ с. ш.). Самая южная точка нашего государства расположена на границе с Азербайджаном ($41^{\circ} 10'$ с. ш.).

Российская Федерация является самым большим в мире государством по площади занимаемой территории (Алпатов, Архангельский, Подоплёлов, 1965; 1973). Площадь ее территории равна 17 075,4 тыс. км², что составляет 11,46% от площади всей суши нашей планеты. Около 298 тыс. км² территории России занимают острова.

Население России по данным Всероссийской переписи населения в 2002 г. составляло 145,17 млн человек.

В политико-административном отношении территория Российской Федерации в настоящее время состоит из 7 федеральных округов (см. цв. вкл., рис. 1) и 88 субъектов (цв. вкл., рис. 2), из них: 21 республика (Адыгея, Алтай, Башкортостан, Бурятия, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкарская, Калмыкия, Карачаево-Черкесская, Карелия, Коми, Марий-Эл, Мордовия, Саха (Якутия), Северная Осетия — Алания, Татарстан, Тыва, Удмуртская, Хакасия, Чеченская, Чувашская), 7 краев (Алтайский, Краснодарский, Красноярский, Пермский, Приморский, Ставропольский, Хабаровский),

48 областей (Амурская, Архангельская, Астраханская, Белгородская, Брянская, Владимирская, Волгоградская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Иркутская, Калининградская, Калужская, Камчатская, Кемеровская, Кировская, Костромская, Курганская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Магаданская, Московская, Мурманская, Нижегородская, Новгородская, Новосибирская, Омская, Оренбургская, Орловская, Пензенская, Псковская, Ростовская, Рязанская, Самарская, Саратовская, Сахалинская, Свердловская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Томская, Тульская, Тюменская, Ульяновская, Челябинская, Читинская, Ярославская), 2 города федерального значения (Москва, Санкт-Петербург), 1 автономная область (Еврейская), 9 автономных округов (Агинский Бурятский, Корякский, Ненецкий, Таймырский (Долгано-Ненецкий), Усть-Ордынский Бурятский, Ханты-Мансийский, Чукотский, Эвенкийский, Ямало-Ненецкий).

В настоящее время проходят процессы территориального укрупнения отдельных субъектов Федерации в результате их объединения в соответствии с итогами референдумов. Например, в 2006 г. образовался Пермский край в результате объединения Пермской области и Коми-Пермяцкого автономного округа.

2.2. МАТЕРИКОВАЯ ЧАСТЬ

2.2.1. Рельеф

Орография нашей страны характеризуется сложным сочетанием низких и приподнятых равнин, плоскогорий, нагорий и гор. Равнины распространены, главным образом, в западной части России, а плоскогорья, нагорья и горы — в восточной, от долины р. Енисей до берегов морей Тихого океана. Средневысотные горные системы сплошным барьером протягиваются параллельно побережьям морей Тихого океана. На юге, вдоль государственных границ России, простирается пояс высоких гор. От этого пояса вся территория понижается по направлению к Северному Ледовитому океану (Мещеряков, 1972).

Южный пояс гор состоит из отдельных горных систем различной высоты: Кавказа, Алтая, Саян, Прибайкалья и Забайкалья. Особенности орогра-

фии территории нашей страны predetermined сложной геологической историей и геологическим строением. Большие низменные пространства, равнины и плоскогорья соответствуют платформам, а горные районы — геосинклиналям. Платформы имеют щиты, где их фундамент выходит на поверхность, и плиты, где фундамент перекрыт покровом рыхлых отложений.

В западной части России значительную площадь занимает Восточно-Европейская (Русская) платформа. На севере она уходит под воды Баренцева и Белого морей, на юге граничит со Скифской платформой, на востоке — с Уралом, а на западе граница платформы проходит за пределами России.

В рельефе Русской платформы выражены крупные морфоструктуры Восточно-Европейской равнины, соответствующие Русской плите и цокольной равнине Балтийского кристаллического щита. Средняя высота Восточно-Европейской равнины составляет 170 м. Отдельные ее части поднимаются до 300–400 м, а наиболее низкие участки по берегам Каспийского моря опущены ниже уровня моря на 28 м (см. цв. вкл., рис. 3).

Карелия и Кольский полуостров

Равнина на территории Карелии имеет холмистый рельеф с высотами около 200 м. Максимальные высоты здесь на северо-западе достигают 600 м. На юге Карелии развит холмисто-моренный и грядовый рельеф, а также камы и озы.

Отличительной чертой рельефа Кольского полуострова является северо-западная ориентировка крупных орографических элементов, обусловленная тектоническими разломами. Рельеф западной части полуострова средне- и низкорослый со значительными амплитудами высот. Холмистые равнины высотой 400–500 м чередуются с долинами рек и озерами. Волнистое плато в восточной части полуострова имеет средние высоты 150–200 м. Вдоль центральной части полуострова тянется гряда возвышенностей — Кейвы, высотой до 407 м. На Кольском полуострове распространены горные массивы Хибинских и Ловозерских тундр высотой 1000–1200 м.

Восточно-Европейская равнина

Восточно-Европейская равнина является крупнейшей в мире по площади территории. Водораздел между Северным Ледовитым и Атлантическим

океанами и Каспийской областью внутреннего стока, проходящий по возвышенностям: Смоленско-Московской, Клинско-Дмитровской и Северным Увалам, делит рассматриваемую равнину на северную покатость и южную часть равнины, которая характеризуется чередованием меридиональных возвышенностей (Среднерусская, Приволжская и Высокое Заволжье) и низменностей (Окско-Донская, Низкое Заволжье). Русская равнина характеризуется платформенным рельефом. Ее составные части — Среднерусская, Приволжская, Калачская возвышенности, Окско-Донская равнина и др.

На Восточно-Европейской равнине, находящейся в пределах России, в отношении рельефа можно выделить следующие три части: северо-западную, центральную, восточную.

В северо-западной части расположены пластовые равнины, выраженные в орографии в виде возвышенностей (Валдайская, Смоленско-Московская, Северные Увалы и др.) и низменностей (Верхневолжская, Мещера и др.). В центральной части находятся Среднерусская и Приволжская возвышенности и Окско-Донская низменная равнина.

На севере и юге восточной части расположены Печорская и Прикаспийская низменности, а между ними — Уфимское плато, Бугульминско-Белебеевская, Общий Сырт, Верхнекамская возвышенности и Тиманский кряж.

На формирование рельефа Русской равнины большое влияние оказали происходившие в прошлом тектонические движения земной коры и неоднократные оледенения на части ее территории (Берг, 1955; Марков, 1968; Мещеряков, 1972).

Кавказ

Между Азовским и Чёрным морями на западе и Каспийским морем на востоке расположен Кавказ. В пределах территории Кавказа, относящейся к Российской Федерации, выделяются Предкавказье и Большой Кавказ. Предкавказье, в свою очередь, по физико-географическим условиям подразделяется на три территории: Западное, Среднее и Восточное Предкавказье. В состав Западного Предкавказья входят Кубано-Приазовская низменность и Прикубанская предгорная равнина.

Среднее Предкавказье охватывает Ставропольскую и Терско-Сунженскую возвышенности, Минераловодскую, Кабардинскую, Северо-Осетинскую и Чеченскую равнины.

Большой Кавказ — наиболее обширная и высокогорная часть Кавказа (Гвоздецкий, 1963; Лурье, 2002). Он имеет общее направление с запада — северо-запада на восток — юго-восток при длине около 1100 км. Рассматриваемая горная система состоит из семи основных хребтов: Главного, Бокового, Передового, Скалистого, Пастбищного, Лесистого, Южного Бокового. Осевую зону Большого Кавказа составляют Главный и Боковой хребты. Главный хребет во многих местах прорехан реками. Ввиду этого обстоятельства главный водораздел Кавказа проходит как по Главному, так и по Боковому хребтам. Основные вершины Главного хребта: Тхаб (950 м), Фишт (2868 м), Домбай-Ульген (4046 м), Шхара (5182 м), Адайхох (4405 м), Казбек (5047 м), Тебулосмта (4494 м), Дюльтыдаг (4131 м), Шагдаг (4251 м). Далее на восток этот хребет резко понижается. Восточнее р. Ардон Главный и Боковой хребты сочленяются, представляя собой единый хребет — Главный.

Боковой хребет расположен к северу от Главного. Основные его вершины: Красная Горка (464 м), Джуга (2976 м), Морг-Сырты (3141 м), Эльбрус (5642 м), Салынтау (4507 м), Дыхтау (5203 м), Суган (4489 м), Уилпата (4638 м). С Главным хребтом Боковой соединяется короткими отрогами.

Урал

Уральские горы расположены между крупнейшими равнинами — Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и Туранской низменностью. Они протягиваются с севера на юг почти меридионально от пролива Югорский Шар до арало-каспийских пустынь примерно на 2800 км. У северного полярного круга ширина Урала составляет около 50 км, а на широте горы Магнитной — около 150 км (Физико-географический атлас мира 1964; Оленев 1965; Макунина, 1974).

Территорию Урала можно подразделить на следующие элементы: 1. Хребет Пай-Хой, расположенный между Югорским Шаром и р. Кара. Он образован отдельными грядами и холмами с высотами до 400–450 м; 2. Заполярный Урал, протянувшийся от Константинова Камня до Сось-Елецкого перевала. Эта часть Урала состоит из коротких хребтов и массивов с высотами более 1000 м; 3. Полярный Урал представлен одним хребтом шириной 15–20 км. Он протянулся от Сось-Елецкого перевала до верховьев р. Хулга. Гора Пайер здесь имеет наивысшую отметку — 1499 м; 4. Приполярный

Урал расположен между рек Хулга и Шугор. Это наиболее высокая часть Уральских гор. Здесь находится максимальная отметка всего Урала — гора Народная (1894 м); 5. Северный Урал начинается горой Тельпосиз (1617 м) и протягивается на значительное расстояние к югу. Он заканчивается южнее Конжаковского и Косьвинского Камней с высотами около 1500 м; 6. Средний Урал протягивается на юг до горы Юрма. Это наиболее пониженная часть Урала. Вершины отдельных гор здесь не превышают 1000 м; 7. Южный Урал состоит из нескольких хребтов с максимальной отметкой 1640 м (гора Ямантау). Он простирается от горы Юрма до широтного участка р. Урал. Южнее широтного отрезка р. Белая хребты Южного Урала понижаются и переходят в Зилаирское плато; 8. Кряж Мугоджары является южной частью Уральских гор. Он протягивается на 450 км от широтного течения р. Урал до полупустынь Казахстана. В средней части этого кряжа гора Большой Боктыбай имеет наибольшую высоту — 657 м.

Западно-Сибирская равнина

Западно-Сибирская равнина является одной из величайших в мире. Протяженность равнины с севера на юг составляет 2500 км, а наибольшая ее ширина отмечается в южной части — 1500 км. Почти вся равнина расположена в пределах Российской Федерации, и лишь южная ее часть относится к Казахстану (Архипов, Вдовин, Мизеров, Николаев, 1970).

Более половины площади рассматриваемой равнины имеют отметки местности менее 100 м над уровнем моря. Наиболее высокие отметки (200–300 м) сосредоточены по окраинам равнины, а наиболее пониженные — на севере, у берегов Карского моря.

Средняя Сибирь

Средняя Сибирь расположена между Енисеем, Леной и Алданом, береговой линией морей Карского и Лаптевых и крутыми склонами гор Восточного Саяна, Прибайкалья. На рассматриваемой территории находится мыс Челюскин — самая северная точка материковой Азии.

Рельеф рассматриваемой территории характеризуется большим разнообразием. В ее пределах находятся горы Бырранга, Северо-Сибирская низменность, Средне-Сибирское плоскогорье, Лено-

Виллюйская (Центрально-Якутская) низменность, Лено-Алданское плато, Алданское нагорье.

Большая часть исследуемой территории занята Средне-Сибирским плоскогорьем, расположенным между Енисеем и Леной. Средние высоты этого плоскогорья составляют 500–700 м, а наиболее приподнятые участки — 1500–1700 м (плато Путорана).

Через центральную часть Средне-Сибирского плоскогорья проходит полоса понижений, простирающихся от Канско-Рыбинской впадины через Приангарское и Центральнотунгусское плато до Виллюйской низменности. На северо-западе плоскогорья расположено плато Путорана, в средней части которого в верховьях р. Хатанга находится наивысшая отметка местности — 1701 м. К западу и востоку от нее высота местности постепенно снижается до 600–700 м. В верховьях рек Анабар и Оленёк находится Анабарское плато. Наибольшие отметки этого плато составляют 700–900 м.

С юго-запада Средне-Сибирское плоскогорье окаймляется Енисейским кряжем, простирающимся от устья Подкаменной Тунгуски почти до Восточного Саяна. Гора этого кряжа Енашимский Полкан имеет наибольшую высоту — 1104 м.

На юго-востоке Средней Сибири, в бассейнах рек Алдан и Лена, расположено Приленское плато и Алданское нагорье. Преобладающие высоты этого нагорья — 700–1200 м, а наибольшая — 2246 м.

Северная часть Таймырского полуострова занята горами Бырранга, наибольшая высота которых, 1146 м, находится к востоку от р. Нижняя Таймыра.

В пределах Средней Сибири расположены две низменности: Северо-Сибирская (Таймырская) и Лено-Виллюйская (Центрально-Якутская). На низменностях встречается множество озер. Их происхождение связано с термокарстовыми, аллювиальными и ледниковыми процессами (Пармузин, 1964; Плоскогорья и низменности Восточной Сибири, 1971).

Северо-Восток Сибири

Северо-Восток Сибири расположен между реками Лена и Алдан и морями Северного Ледовитого и Тихого океанов (Баранова, Бискэ, 1964; Пармузин, 1967). На Чукотском полуострове находится самая восточная точка России — мыс Дежнёва. Через среднюю часть рассматриваемой территории простирается Северный полярный круг. Исследуемая территория характеризуется огромными размерами, на-

личием гор и равнин, повсеместным распространением вечной мерзлоты, господством лиственничных лесов, горными и равнинными тундрами. На западе северо-востока Сибири протягивается на расстояние 1500 км Верхоянский хребет. У дельты р. Лена его называют Хараулахским хребтом. Здесь он имеет высоту 300–800 м. К югу высота его гор увеличивается до 1100–2400 м, и они называются хребтами Орулган и Скалистый. На юге от Верхоянского хребта глубокой впадиной отделен хребет Сунтар-Хаята. Максимальная отметка этого хребта составляет 2959 м. Хребты Верхоянский и Сунтар-Хаята являются водоразделами для бассейнов Лены, Алдана, Яны и Индигирки. Западный и южный склоны гор рассмотренных хребтов на всем их протяжении являются короткими и крутыми, а восточный полого опускается к Янскому и Оймяконскому нагорьям. К югу от Верхоянского хребта расположены хребты Сетта-Дабан и Юдомский. Эти хребты разделены между собой Майским нагорьем.

Хребет Джугджур достигает высоты 1906 м. Он тянется вдоль побережья Охотского моря.

Восточнее Верхоянского хребта протянулся на 1800 км хребет Черского. Наибольшие высотные отметки на этом хребте находятся в районе пересечения его р. Индигирка (гора Победа, 3147 м). Хребет Черского пересекает также р. Колыма.

От Чаунской губы до Охотского моря простирается Колымское нагорье. Это нагорье включает в себя Анойский, Олойский, Омеукчанский и другие хребты и плоскогорья с высотами до 1500–1962 м.

Восточнее Чаунской губы и до Берингова пролива находится Чукотское нагорье с высотами 1600–1843 м.

Между горными системами северо-востока Сибири расположены низкогорные и среднегорные плоскогорья, нагорья и плато.

Расположенная за Полярным кругом в пределах Северо-Востока Сибири низменность занимает приморские территории и узкими «заливами» заходит в межгорные пространства на юг.

К востоку от нижнего течения р. Колыма до Берингова пролива расположены Северный и Южный Анойские хребты с высотами менее 2000 м. От Чаунской губы до Берингова пролива находится Чукотская складчатая зона. В рельефе эта территория выражена разобшенными хребтами, разделенными впадинами, нагорьем (Черкейское), приморскими низменностями (Чаунская и Ванкаремская). На Чукотском полуострове широкое распространение получили фьорды.

Алтай и Саяны

К Алтайско-Саянской горной стране относятся Алтай с Кузнецким Алатау, Салаирским кряжем и Кузнецкой котловиной, Западный и Восточный Саяны, Восточно-Тувинское нагорье и Тувинская котловина.

Преобладающие высоты хребтов рассматриваемого региона составляют 2000–2500 м. Наибольшие высотные отметки гор составляют 3500–4500 м. Эти высоты приурочены к Алтаю (Мещеряков, 1972; Тушинский, Давыдова, 1976).

К северу от Алтая в северо-западном направлении простираются параллельно два хребта: Кузнецкий Алатау и Салаирский Кряж. На юге территории они соединяются со среднегорными массивами Горной Шории. Между ними расположена Кузнецкая котловина. Наивысшая отметка Кузнецкого Алатау — Верхний Зуб — составляет 2178 м. Высотные отметки местности в Горной Шории колеблются от 1300 до 1570 м. Кузнецкий Алатау изрезан многочисленными притоками рек Томь и Чулым.

Наибольшие высоты Салаирского кряжа составляют 500–580 м. Его склоны асимметричны. Поверхность кряжа расчленена широкими долинами и балками. Глубина ее расчленения достигает 200 м и более.

В южной части Кузнецкой котловины отметки местности достигают 450 м. Вся поверхность этой котловины постепенно понижается к северу до отметки 200 м. Реки Томь и Иня прорезают рассматриваемую котловину.

По комплексу физико-географических признаков Алтай можно подразделить на следующие части: Южный, Восточный, Центральный, Северо-Западный и Северо-Восточный. Южный Алтай территориально в основном входит в состав Казахстана.

Саяны представляют собой выпуклую к северу дугу. Центральные хребты Саян достигают 2500–3000 м. К северу и югу от их центров отметки местности снижаются до 900 м. Саяны — это две горные системы: Западный Саян и Восточный Саян.

Протяженность Западного Саяна составляет 650 км. На севере хребты Западного Саяна обрываются к Минусинской котловине, а на юге — к Тувинской. Наивысшая отметка местности Западного Саяна принадлежит горе Карагош — 2930 м. Западный Саян прорезан р. Енисей. Хребты Западного Саяна с высотами ниже 2000 м имеют куполовидные формы рельефа. Между хребтами расположены замкнутые котловины.

Восточный Саян простирается от левобережья Енисея до р. Иркут на расстояние, превышающее 1000 км. На северо-востоке Восточный Саян граничит со Средне-Сибирским плоскогорьем, а на юго-западе — с Минусинской и Чулымо-Енисейской котловинами, Западным Саяном и Восточно-Тувинским нагорьем. Восточный Саян — водораздел между речными системами Ангары и Енисея. Наивысшая отметка местности в Восточном Саяне — Мунку-Сардык — равна 3491 м.

Минусинско-Чулымские котловины находятся между Кузнецким Алатау, Западным и Восточным Саяном. Обе они разделены невысоким Батеневским кряжем. Наибольшие высоты (до 900 м) сосредоточены по периферии Минусинской котловины. По центральной части этой котловины протекает р. Енисей. Хребты Западного Саяна крутыми склонами обрываются к Минусинской котловине.

Южнее Западного и Восточного Саян расположена Тувинская котловина и горы Восточно-Тувинского нагорья и Танну-Ола.

Хребты Танну-Ола отделяют Тувинскую котловину от бессточной Убсунурской котловины. К востоку от Танну-Ола расположено нагорье Сангилен. По этому нагорью проходит водораздел между бассейном Северного Ледовитого океана и бессточной областью Центральной Азии. Западный Танну-Ола имеет высоту 2972 м, а Восточный Танну-Ола — 2385—2591 м.

Нагорье Сангилен имеет отметки местности 2500—3200 м. Поверхность его представлена сглаженным рельефом, однако местами встречаются острые гребни, ледниковые формы — трог, кары и цирки.

Южнее хребтов Танну-Ола расположена Убсунурская котловина. Равнинная поверхность котловины расчленена реками, стекающими с хребтов Танну-Ола.

Восточно-Тувинское нагорье находится в восточной части Республики Тыва. Оно состоит из плоскогорий, горных цепей и котловин. Крупным плоскогорьем его является Бий-Хемское, расположенное севернее широтного участка долины р. Бий-Хем (Большой Енисей). Рассматриваемое плоскогорье приподнято в восточной части до высот 2300—2500 м. К западу его поверхность снижается до 1500 м. Южнее Бий-Хемского плоскогорья простирается хребет Академика Обручева, являющийся водоразделом рек Бий-Хем и Ка-Хем (Малый Енисей). На востоке высоты этого хребта достигают 2900 м.

В Восточно-Тувинском нагорье между хребтами и плоскогорьями залегают межгорные котловины, крупнейшая из которых — Тоджинская.

Прибайкалье, Забайкалье, Становое нагорье и Северные Байкальские нагорья

Хребты Байкальской горной страны разделены широкими и глубокими котловинами и плоскогорьями. Они простираются вдоль западного и восточного берегов оз. Байкал и к востоку от него (Гвоздецкий, Михайлов, 1970; Мещеряков, 1972).

Границами рассматриваемой территории являются: на севере и западе — крутой уступ с высотами 200—450 м к Среднесибирскому плоскогорью; на юго-западе — по Тункинскому грабену с Восточным Саяном; на юге и юго-востоке — государственная граница России, на востоке — западная часть бассейна р. Зeya и Становой хребет. Для исследуемой территории характерна высокая сейсмичность (8—10 баллов).

Основное направление хребтов и впадин — северо-восточное и широтное. Наибольшие высоты на данной территории находятся на хребте Кодар (около 3000 м). Наименьшие отметки рельефа характерны для низовьев рек Шилка и Аргунь (200—400 м).

По рельефу исследуемая территория подразделяется на четыре региона: Прибайкалье, Забайкалье, Становое нагорье и Северные Байкальские нагорья (Северо-Байкальское, Патомское и Олёкмо-Чарское).

Прибайкалье состоит из хребтов и котловин, которые простираются параллельно западному и восточному берегам Байкала. Узкая полоса хребтов вдоль западного берега Байкала — Западное Прибайкалье — состоит из Приморского и Байкальского хребтов и Олотской возвышенности.

Высокие хребты: Хамар-Дабан, Улан-Бургасы, Икатский и Баргузинский, расположенные от Тункинского грабена до долины Верхней Ангары, а также котловины, разделяющие их, образуют Восточное Прибайкалье.

Забайкалье расположено на обширной территории к востоку от Восточного Прибайкалья. Оно состоит из средневысотных плосковершинных хребтов, межгорных котловин и плоскогорий. В Западном Забайкалье между Прибайкальем и Яблоновым хребтом расположено Витимское плоскогорье, которое изрезано р. Витим и ее притоками.

Восточное Забайкалье находится на юго-востоке, в бассейнах рек Шилка и Аргунь. Эта часть За-

байкаля характеризуется сочетанием средне- и низкогорных плосковершинных хребтов, которые разделяются глубокими долинами. В низовьях рек Шилка и Аргунь отметки местности не превышают 200–400 м.

Третий регион рассматриваемой территории — Становое нагорье — это группа высоких хребтов и обширных межгорных котловин. За р. Олёкма в широтном направлении расположен Становой хребет. Наивысшую отметку нагорья — около 3000 м — имеет хребет Кодар. Северные Байкальские нагорья (Северо-Байкальское, Патомское и Олёкмо-Чарское), составляющие четвертый регион данной горной страны, оконтуривает с севера Становое нагорье. Рельеф местности этих нагорий представлен плосковершинными междуречьями и узкими неглубокими долинами рек, опущенными по отношению к водоразделам на 300–500 м.

В Забайкалье проходит водораздел Северного Ледовитого и Тихого океанов. Здесь расположены верховья трех величайших рек мира и их верхние притоки: к бассейну Енисея относится оз. Байкал и впадающие в него реки; в Лену стекают воды ее верхних притоков: Витима, Большого Патома, Олекмы и верховий Алдана. От слияния вод рек Шилка и Аргунь берет начало Амур.

Камчатка и Курильские острова

Камчатка и Курильские острова расположены на северо-востоке азиатской части России. Эта территория омывается водами Тихого океана и его морей. Она состоит из Анадырско-Пенжинской низменности, Корякского нагорья, полуострова Камчатка и Курильских островов (Пармузин, 1967; Тушинский, Давыдова 1976).

В рельефе равнин преобладают низменные участки с высотами от 0 до 200 м (долины рек и берега Анадырского залива и Пенжинской губы). Низменности разделены на отдельные части кряжами, плоскогорьями и хребтами с высотами от 500 до 1000 м и более. Пенжинский хребет является самым большим. Он разделяет Пенжинскую низменность и Паропольский дол.

Корякские горы состоят из хребтов, тектонических депрессий, вулканических плато и плоскогорий. В центре Корякских гор возвышается Центральнокорякский горный массив с наивысшей отметкой — гора Ледяная — 2562 м. От массива во все стороны расходятся хребты. Наиболее высокие и длинные из них отходят в юго-западном направ-

лении. Например, хребет Ветвейский имеет высотную отметку, равную 1183 м. Для Корякской горной системы характерны глубокие депрессии, разъединяющие хребты, как, например, Южно-Олюторская и Березовская (Мешеряков, 1972).

Через среднюю часть Камчатки проходит Срединный (Западный) хребет. Он состоит из отдельных горных цепей. Наибольшие высоты хребта находятся в центральной его части (Ичинская Сопка, 3621 м). К северу хребет понижается до 300–400 м.

Восточный хребет состоит из отдельных изолированных хребтов: Ганальские Востряки, Валагинский и Кумроч. Высота Восточного хребта около 2000 м.

Между склонами Срединного и Восточного хребтов расположена Центральная Камчатская равнина, по которой протекает р. Камчатка.

На западе Камчатки находится Западно-Камчатская низменность. На Камчатке имеется 120 вулканов, в том числе 22 действующих. Они располагаются вдоль Срединного хребта и вдоль восточного побережья. Особенно известны следующие вулканы: Ключевская Сопка, Корякская Сопка, Авачинская Сопка и др.

Курильские острова имеют вулканическое происхождение. Они отделяют Охотское море от Тихого океана.

Курильский архипелаг делится Южно-Курильским проливом на две гряды: Большую и Малую. В состав Большой гряды входят наиболее крупные острова: Итуруп, Парамушир, Кунашир и Уруп.

На островах Большой гряды преобладают вулканические горы и плато с высотами 500–1000 м. Действующий вулкан Алаид имеет наибольшую высоту — 2339 м. Наиболее пониженный рельеф характерен для острова Шумшу. Незначительные высоты характерны и для Малой гряды. Лишь на острове Шикотан отметки местности достигают 350–400 м. На Курильских островах имеется примерно 100 вулканов, из которых 40 — действующие.

Приамурье, Приморье и остров Сахалин

Западная граница рассматриваемой территории проходит по водоразделу бассейнов рек Олёкма и Зeya, северная — южнее Станового хребта. Южная граница территории совпадает с государственной границей Российской Федерации, а восточная проходит по Охотскому и Японскому морям и проливу

Лаперуза (Алпатьев и др., 1965; 1973; Мильков, Гвоздецкий, 1969; Тушинский, Давыдова, 1976).

Горные системы занимают около 80% рассматриваемой территории. К ним относятся: Янкан—Тукурингра—Джагды, Буреинский, Сихотэ-Алинь, Западно-Сахалинская и Восточно-Сахалинская системы. Равнины и плато с высотами от 50—100 м до 300—500 м расположены между горами. Приморские низменности распространены в виде небольших участков на материке и в северной части острова Сахалин. Из других элементов рельефа можно выделить следующие низменности: Зейско-Амурская, Нижне-Амурская, Уссурийско-Ханкайская, Северо-Сахалинская, а также Зейско-Буреинское плато.

Высотные отметки гор часто превышают 1500—2000 м. Например, в системе Тукурингра—Джагды отметки достигают 1590 м и больше. В систему Буреинских гор входят хребты Малый Хинган, Буреинский, Турана, Эзоп, Баджальский. Наиболее высокая отметка местности — 2512 м — приурочена к Баджальскому хребту.

Горная система Сихотэ-Алинь состоит из ряда параллельных хребтов северо-восточного направления. Самая высокая вершина Сихотэ-Алиня, гора Тардоки-Яни, имеет отметку 2077 м.

Преобладающие высоты Зейско-Буреинской равнины находятся в интервале 400—500 м.

Зейско-Амурская равнина включает в себя Амурско-Зейское и Зейско-Буреинское междуречья. С поверхности равнина представлена озерно-аллювиальными и аллювиальными отложениями. Большая их часть была образована низкой и высокой поймами и надпойменными террасами, высота которых составляет от 2—3 до 80 м.

Нижне-Амурская и Уссурийско-Ханкайская равнины представляют собой полосу межгорных равнин, простирающихся по долинам рек Амур и Усури от восточных подножий Хингано-Буреинских гор до западных предгорий Сихотэ-Алиня и побережий Татарского пролива.

Значительная площадь рассматриваемой территории заболочена, озера многочисленны.

Остров Сахалин расположен у восточных берегов России. Площадь его территории равна 76 400 км². Он отделяет Охотское море от Японского. От материка Азия этот остров отделен проливом Невельского. На Сахалине находятся две горные системы: Западно-Сахалинские горы и Восточно-Сахалинский хребет. Эти системы разделены Тымь-Поронайской долиной.

Восточно-Сахалинский хребет состоит из нескольких хребтов. В его пределах находятся высшие отметки острова, достигающие 1609 м (гора Лопатина) и 1397 м (гора Невельского).

Тымь-Поронайская низменность расчленена крупнейшими реками Сахалина — Тымью и Поронаем. Низменность заболочена, в ее пределах находится большое количество озер.

Речная сеть Сахалина довольно густая, что связано с большим количеством атмосферных осадков и сравнительно небольшим испарением. Главный водораздел на острове проходит через Западно-Сахалинские горы и центральную часть Северо-Сахалинской низменности.

2.2.2. Климат

Климат Российской Федерации определяется ее географическим положением и рельефом местности. Территория России расположена в пределах 4-х климатических поясов: арктического, субарктического, умеренного и субтропического. Большая часть территории находится в умеренном поясе. Большая протяженность территории Российской Федерации по долготе обусловила удаленность ее внутренних регионов от океанов и формирование континентальных типов климата (Лебедев, 1958; Борисов, 1975, 1970; Будыко, 1971; Борисов; Климатология, 1989; Климат России, 2001).

На формирование климата оказывают влияние многие факторы и, в первую очередь, радиационные и циркуляционные условия. Именно они, главным образом, определяют температурный режим, типы воздушных масс и их движение, развитие фронтальных процессов и атмосферные осадки.

Радиационные условия обусловлены положением территории России, в основном, в умеренном и субарктическом поясах. Это обстоятельство способствует большому различию в количестве суммарной солнечной радиации, поступающей за годовой интервал времени на ее поверхность. В арктическом поясе на архипелаг Северная Земля поступает за год 60 ккал/см², а на крайнем юге России — 140 ккал/см² (рис. 2.1) (Физико-географический атлас мира, 1964; Пивоварова, 1977).

Большое влияние на приток солнечной радиации к земной поверхности оказывает облачность: она уменьшает долю прямой радиации и увеличивает рассеянную.

Циркуляционные условия над территорией нашей Родины обусловлены ее положением относи-

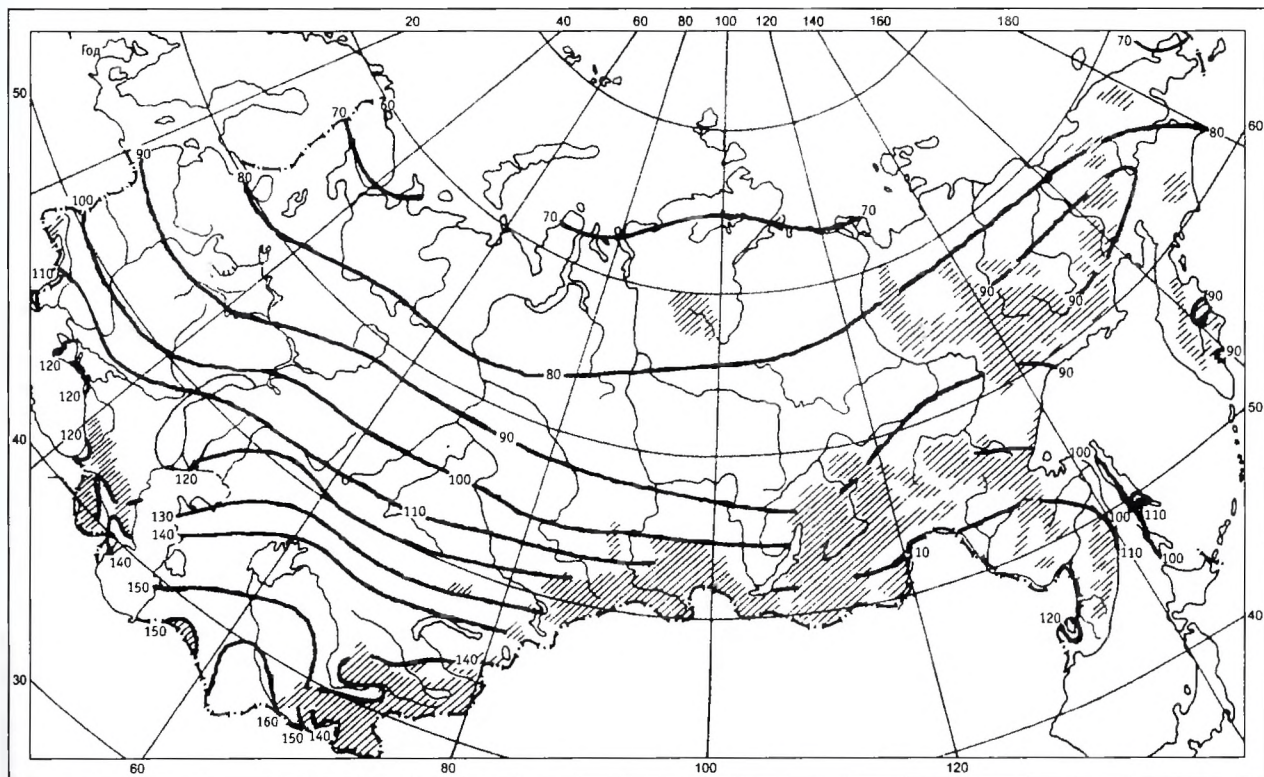


Рис. 2.1. Суммарная солнечная радиация, ккал/см² год

тельно морей и океанов, существованием областей высокого и низкого давления (центров действия атмосферы — ЦДА) и их смещением во времени.

На климат России оказывают влияние следующие области высокого давления: Азорский, Арктический, Азиатский максимумы (антициклоны) и области низкого давления: Исландский и Алеутский минимумы.

Взаимодействие областей высокого и низкого давления (ЦДА) предопределяет движение воздушных масс и направление ветров. Особенно большую роль играет Арктический антициклон, поскольку именно он оказывает регулирующее влияние на перемещение к северу либо к югу двух сопряженных пар ЦДА: Азорского максимума и Исландской депрессии, с одной стороны, Гавайского максимума и Алеутской депрессии, с другой (рис. 2.2) (Бабкин, 2000).

Как видно из рис. 2.2, что, когда Арктический антициклон находится несколько западнее своего среднего многолетнего местоположения, его отрог высокого давления распространяется на Гренландию. В этом случае Азорский максимум и Исланд-

ский минимум атмосферного давления смещаются к югу, путь Атлантическим циклонам на север закрыт. Поэтому их траектории проходят по территории Европейской части России с запада на восток. Алеутская депрессия и Гонолульский максимум в это время смещены несколько к северу относительно своего среднего многолетнего местоположения. Циклоны из депрессии выходят в Арктику.

Когда же Арктический антициклон находится несколько восточнее своего среднего многолетнего местоположения, отрог высокого давления распространяется на Алеутские острова. В этом случае Азорский максимум и Исландский минимум смещаются к северу, открывается путь Атлантическим циклонам в Арктику. Северотихоокеанская пара ЦДА (Алеутский минимум и Гонолульский максимум) смещается южнее относительно своего среднего многолетнего местоположения. Циклоны выходят на территорию Дальневосточного региона России.

Климат Российской Федерации формируют следующие воздушные массы: арктический воздух, воздух умеренных широт, тропический воздух.

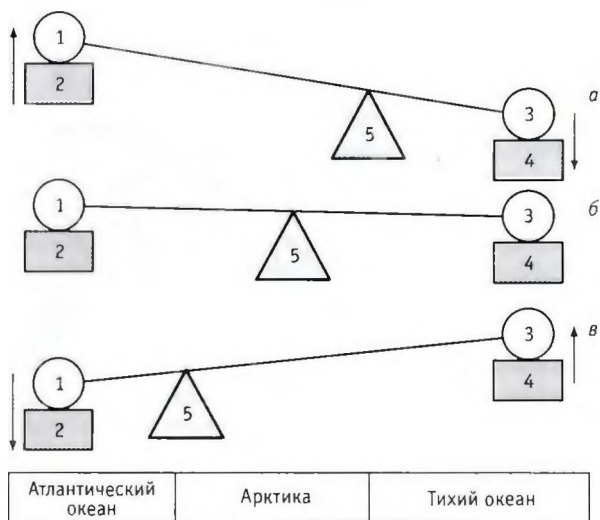


Рис. 2.2. Схема взаимодействия Атлантической и Тихоокеанской пар ЦДА через Арктический антициклон:

1(3) — Исландский (Алеутский) минимум; 2(4) — Азорский (Гонолульский) максимум; 5 — Арктический максимум; а — Арктический антициклон находится несколько восточнее своего нормального местоположения; происходит смещение к северу Исландской депрессии и Азорского антициклона; путь Атлантическим циклонам на Север открыт. Алеутская депрессия и Гонолульский максимум смещаются к югу; б — нормальное местоположение центров действия атмосферы; в — Арктический антициклон находится несколько западнее своего нормального местоположения; происходит смещение к югу Исландской депрессии и Азорского антициклона; путь Атлантическим циклонам на север закрыт; Алеутская депрессия и Гонолульский максимум смещены к северу относительно своего нормального местоположения. Циклон из депрессии выходит в Арктику

Арктический воздух (континентальный и морской) формируется в арктическом поясе над поверхностью Северного Ледовитого океана и его морей.

Воздух умеренных широт (полярный) образуется в умеренном поясе. По своим свойствам он делится на морской и континентальный. Морской воздух поступает с Атлантического океана. Он проникает на восток вплоть до Верхоянского хребта и Забайкалья. На территорию Дальнего Востока поступает морской полярный воздух со стороны Тихого океана и его морей.

Поступающие с океана в умеренный пояс воздушные массы над поверхностью суши трансформируются и превращаются в континентальный воздух умеренных широт. Тропический воздух (морской и континентальный) характерен для субтропического пояса. Морской тропический воздух проникает со Средиземного и Чёрного морей, а континентальный заходит с юга.

При соприкосновении двух воздушных масс с различными свойствами создаются атмосферные фронты.

Над территорией России существуют три типа воздушных масс (арктические, полярные, субтропические) и возникают два атмосферных фронта: арктический (на контакте арктического воздуха и воздуха умеренных широт) и полярный (на контакте умеренных и субтропических воздушных масс). Оба указанных фронта мигрируют в пределах, соответственно, арктического и субарктического поясов и на юге умеренного и севере субтропического поясов (Алисов, 1969; Борисов, 1970).

На распределение тепла и влаги на территории нашей страны существенное влияние оказывает рельеф местности. Воздушные массы свободно проникают во внутренние районы на равнинах. Горные хребты препятствуют свободному проникновению воздушных масс и задерживают их продвижение.

Воздушные массы Азиатского антициклона свободно переваливают через горные системы Забайкалья и Дальнего Востока и достигают побережий морей Тихого океана. Межгорные котловины способствуют развитию температурных инверсий и существенному выхолаживанию воздушных масс зимой. В результате этого обстоятельства наблюдаются очень низкие зимние температуры (Оймякон, Верхоянск, а также в других котловинах).

Горные системы обостряют атмосферные фронты и способствуют увеличению количества осадков, выпадающих на их наветренных склонах.

Зимний период

В центральной части Азии в зимний период вследствие сильного выхолаживания формируется Азиатский антициклон. Этот максимум атмосферного давления захватывает Среднюю Сибирь и северо-восток России. На севере он сливается с Арктическим антициклоном. На запад от него отходит отрог повышенного давления (ось Воейкова). В Азиатском антициклоне формируется континентальный холодный воздух.

Из Северной Атлантики на Баренцево и Карское моря распространяется отрог Исландского минимума атмосферного давления. В северной части Тихого океана и Берингова моря формируется Алеутский минимум атмосферного давления. Из областей высокого давления к областям низкого давления воздушные потоки направляются к северу и югу от оси Воейкова, с материка на Тихий океан.

На Русскую равнину поступают западные и юго-западные влажные воздушные массы, а на северные окраины России из Арктики вторгается холодный арктический воздух. На контакте арктических и умеренных воздушных масс образуется арктический атмосферный фронт, на котором развивается циклоническая деятельность. Арктический фронт на западе проходит над Баренцевым и Карским морями и на востоке над Охотским морем. Зимой вся территория Российской Федерации заполняется воздухом умеренных широт. Поэтому полярный фронт отодвигается к югу за пределы нашей страны. О. А. Дроздовым (Климатология, 1989) установлено заметное влияние Атлантики, Азиатского антициклона, Алеутского минимума давления и солнечной радиации на температуру воздуха в январе месяце. С Атлантического океана зимой вместе с воздушными массами и в результате циклонической деятельности поступает на территорию России большое количество тепла. Поэтому на Русской и Западно-Сибирской равнинах температура воздуха понижается не столько с юга на север, сколько с запада на восток и северо-восток. Основные пути циклонов в зимний период показаны на рис. 2.3. Влияние Азиатского максимума атмосферного давления проявляется в очень низкой температуре Средней Сибири и на северо-востоке России. В отдельных котловинах «полюса холода» (Верхоянск, Оymyakon) температура понижается до -70°C .

На Дальнем Востоке Алеутская депрессия и Охотская ветвь арктического фронта обуславливают циклоническую деятельность, способствуя появлению здесь более снежных и теплых зим по сравнению с регионами Средней Сибири и Северо-Востока России.

Наибольшие суммы зимних осадков выпадают на западе России. Именно сюда поступают циклоны с Атлантического океана. По направлению с запада на восток и северо-восток количество атмосферных осадков уменьшается. В зимний период осадки выпадают на территорию России преимущественно в виде снега. Высота снежного покрова и продолжительность его залегания в различных регионах нашего государства зависят от соотношения количества осадков и тепла.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в пределах России увеличивается по направлению с юга на север и северо-восток от 40–50 дней на юге Русской равнины до 240–280 дней в пределах Сибири. Средняя высота снежного покрова колеблется от 30–50 см до 70 см на

равнинах и до 200–400 см в наиболее увлажненных горных районах. В предгорьях Урала и на Средне-Сибирском плоскогорье средняя высота снежного покрова составляет 100 см. На юге Русской равнины она редко доходит до 30 см. В горных районах средняя высота снежного покрова превышает 70–100 см, увеличиваясь с высотой до 200–300 см.

По высоте снежного покрова в России выделяются (Тушинский, Давыдова, 1976; Климат России, 2001):

1. Очень малоснежные районы (территории юга Русской равнины, неширокая полоса вдоль южной окраины Забайкалья и Дальнего Востока) с высотой снежного покрова 0–30 см.

2. Малоснежные районы — территории, неширокой полосой окаймляющие с севера и северо-востока указанные выше первые районы, а также арктическое побережье в пределах Русской и Западно-Сибирской равнин и крупные котловины северо-востока Сибири. Здесь высота снежного покрова составляет 30–50 см.

3. Умеренно снежные районы, в которых высота снежного покрова равна 50–70 см. Эти районы занимают почти весь север Русской и Западно-Сибирской равнин, плоскогорья и большую часть среднегорий Сибири, северо-востока, Приморья и восточное побережье Камчатки.

4. Многоснежные районы, где высота снежного покрова доходит до 70–100 см. Это территории Кольского полуострова, Предуралья, в бассейне Енисея (между Дудинкой и устьем Ангары), горы Сибири, Северо-Востока, Приморья и значительная часть Камчатки.

5. Исключительно многоснежные районы, где высота снежного покрова превышает 100 см. Сюда относятся западные склоны Урала, плато Путорана, восточная часть Камчатки.

Летний период

Климатические условия летнего периода на территории России в существенной мере обусловлены солнечной радиацией.

В летний период происходит перемещение Азорского антициклона к северу, и его ветвь проникает на Русскую равнину. От этой ветви к северу, югу и востоку атмосферное давление понижается.

Над Арктикой наблюдается более высокое атмосферное давление, чем над материком, и холодные арктические воздушные массы поступают во внутренние районы России.

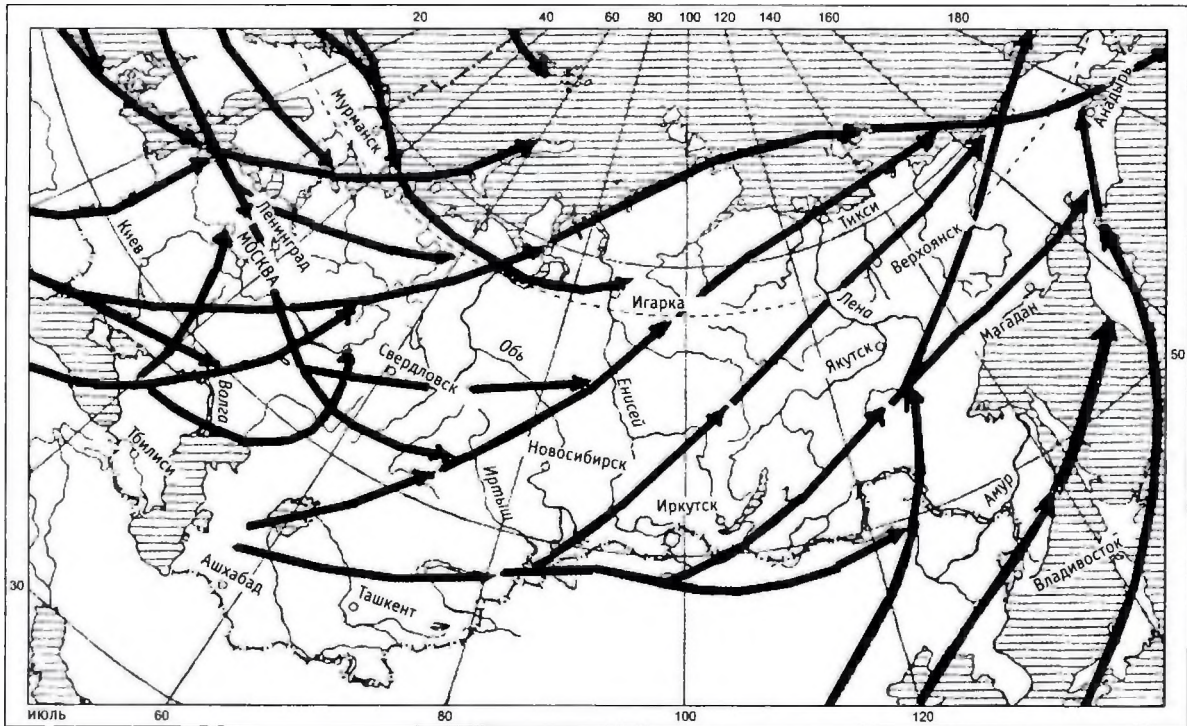
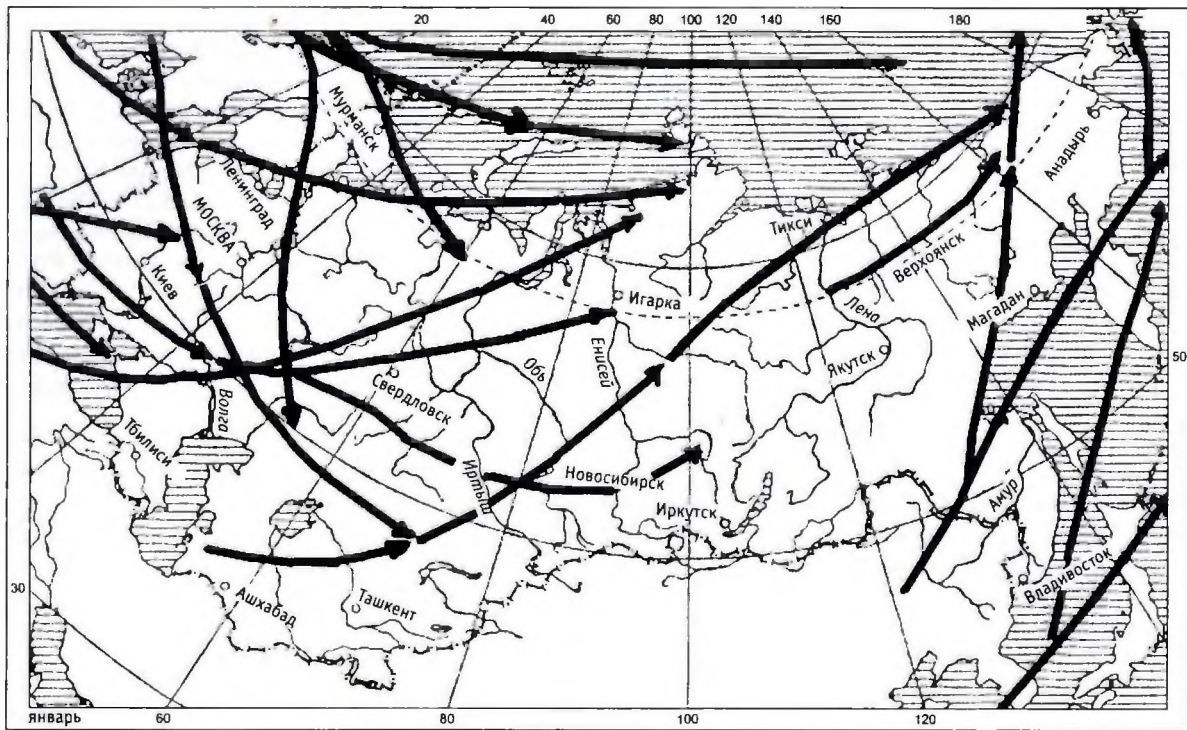


Рис. 2.3. Пути циклонов над территорией России

Над Тихим океаном Северо-Тихоокеанский максимум давления перемещается к северу. Поэтому возникает летний дальневосточный муссон, поскольку над сушей в это время года атмосферное давление низкое.

Летом над территорией России господствует западный перенос. С Атлантического океана на территорию нашей страны поступает влажный морской воздух, а из Арктики — холодный. Арктический воздух продвигается на юг. По пути он нагревается и удаляется от точки насыщения. Он действует иссушающе на поверхность речных бассейнов и вызывает засухи.

На юго-запад России заходят тропические воздушные массы, а на юго-восток — тропические воздушные массы со стороны Тихого океана.

Все воздушные массы, приходящие летом на территорию нашей страны, трансформируются в полярный континентальный воздух умеренных широт. В местах соприкосновения различных воздушных масс возникают арктический и полярный атмосферные фронты и развивается циклоническая деятельность. Наиболее ярко циклоническая деятельность выражена на полярном фронте над Восточно-Европейской равниной. Здесь соприкасаются континентальные массы умеренного воздуха с морскими умеренными или тропическими. В Сибири и на Дальнем Востоке полярный фронт образуется при соприкосновении полярных континентальных, морских умеренных и тропических воздушных масс, а также континентальных тропических воздушных масс.

Летом арктический фронт отчетливо выражен в пределах Баренцева и Карского морей, а также на побережье восточных морей Северного Ледовитого океана. По линии арктического фронта циклоническая деятельность летом усиливается. Она вызывает длительные морозящие дожди в субарктическом и арктическом поясах.

Основные направления путей циклонов в это время показаны на рис. 2.3.

Летом на всей территории России выпадает максимум осадков. Это обстоятельство связано с усиленной циклонической деятельностью, влагоудержанием воздушных масс и конвекцией.

Максимум осадков (600 мм и более) выпадает на возвышенностях. К югу и востоку на Русской равнине наблюдается уменьшение летних сумм осадков до 200 и даже 100 мм. Это обстоятельство связано с влиянием отрога высокого давления, распространяющегося от Азорского максимума. По-

этому здесь наблюдается сухая, ясная, теплая погода. С продвижением на юг арктический воздух нагревается и иссушается, что приводит к появлению засух на юго-востоке Русской равнины и Западно-Сибирской низменности.

По направлению к востоку количество осадков убывает. Например, в пределах бассейна р. Вилюй летом выпадает около 200 мм. На побережьях морей Тихого океана в связи с муссонной циркуляцией количество осадков возрастает до 500 мм и более.

Смена радиационных и циркуляционных условий происходит весной и осенью. Во время этих сезонов меняется местоположение областей высокого и низкого атмосферного давления, типов воздушных масс и атмосферных фронтов.

Климатические особенности формирования водных ресурсов на островной части России (на островах Северного Ледовитого и Тихого океанов в условиях арктической и тундровой зон) кратко описаны в разд. 2.3.

2.2.3. Почвы и растительность

Почвы, почвенные воды и растительный покров связаны с самой верхней частью земной коры на суше. Именно они принимают непосредственное участие в поглощении и отражении падающей на них суммарной солнечной радиации. Тепловая энергия Солнца, получаемая почвой и растительным покровом, расходуется на суше на функционирование ряда процессов: испарение воды из почвы, транспирацию влаги растениями, турбулентный теплообмен деятельной поверхностью суши с атмосферой и на теплообмен поверхности суши с нижележащими слоями почво-грунтов.

Почва и растительность являются приемниками выпадающих на сушу атмосферных осадков. Растения (деревья, кустарники, трава) смачиваются атмосферными осадками, которые впоследствии испаряются с их поверхности. Осадки частично задерживаются (перехватываются) растениями. Другая часть выпадающих осадков смачивает поверхность почв (перехватывается поверхностью почвы), заполняет местные понижения, частично поступая ниже в почво-грунты, а частично испаряется. Однако большая часть выпадающих осадков инфильтруется в почво-грунты, откуда частично транспирируется растениями, по капиллярам поднимается к поверхности почвы и испаряется.

Почво-грунты обладают различной водоудерживающей способностью. За какой-либо период

времени достигающие поверхности почвы осадки могут в ней накапливаться (аккумулироваться).

Для гидрологии особое значение имеет роль почвы в формировании речного стока

В зависимости от влажности почвы, ее строения и состава, воднофизических и инфильтрационных свойств, а также от рельефа местности, воды атмосферных осадков при протекающих процессах — испарении, транспирации и инфильтрации, одновременно участвуют в процессах стока: поверхностно-склонового, почвенно-поверхностного, почвенно-грунтового и грунтового (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987). Очевидно, что при очень малой инфильтрационной и водоудерживающей способностях почв основная часть объема атмосферных осадков, поступивших на ее поверхность, будет расходоваться на поверхностно-склоновый и почвенно-поверхностный сток, а также на испарение влаги и транспирацию. При высокой инфильтрационной способности почв (например, в лесной зоне) значительная часть атмосферных осадков, кроме задержанных растительным покровом и ее поверхностью, будет проникать в зону аэрации и насыщения, расходуясь на почвенно-грунтовой сток, грунтовой сток, а также на испарение влаги и ее транспирацию растениями из зоны аэрации. Естественно, часть поступивших в зоны аэрации и насыщения атмосферных осадков будет накапливаться в них в течение какого-либо интервала времени.

Отмечая большую гидрологическую роль почв в процессах круговорота воды в природе (Львович, 1986), указывалось, что почва является посредником между климатом и водным балансом территории, в том числе и стоком.

Добавим, что почва — это не только посредник между климатом и водным балансом территории, но и своеобразный регулятор всех гидрологических процессов, связанных с функционированием наземной ветви гидрологического цикла. Вот почему почвам и растительности в данном разделе уделено особое внимание, без чего не могут быть правильно поняты количественные значения многих гидрологических явлений и процессов, протекающих в гидрологических районах нашего государства.

Большая протяженность территории Российской Федерации с севера на юг, наличие обширных равнин и крупных горных систем обусловили четко выраженную широтную зональность и различные типы высотной поясности почвенно-растительного покрова. В. В. Докучаев (Докучаев, 1948),

а впоследствии и другие ученые (Берг, 1955; Мильков, 1964; Будыко, 1971) создали генетическую классификацию почв и сформулировали учение о зонах природы. Согласно этому учению, основным фактором формирования почвенно-растительного покрова является соотношение температурного режима и степени увлажненности. Существенное влияние на положение зон оказывает рельеф местности и степень континентальности.

На территории Российской Федерации широтная зональность выражена на Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинах. В пределах нашего государства расположены следующие природные зоны: арктических пустынь, тундровая, лесотундровая, лесная, лесостепная, степная, полупустынная и субтропическая с характерным типом почв и растительности.

Зона арктических пустынь расположена на Крайнем Севере нашей страны. В ее состав входят острова Северного Ледовитого океана: Земля Франца Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова и др. Эта зона характеризуется присутствием огромных количеств льда и снега во все сезоны года.

Почвообразовательный процесс здесь находится в начальной стадии формирования. Почвенный покров наблюдается лишь в долинах рек и ручьев и на морских террасах. Ввиду того, что в течение большей части года почва находится в промерзшем состоянии, ее формирование происходит, главным образом, по болотно-торфяному типу.

Растительность здесь тесно связана с очень суровыми природными условиями. Для рассматриваемой территории характерны большая разреженность растительности и ее приуроченность к западинам местности. Большинство растений имеет форму подушек. На исследуемой территории растут камнеломки, желтый полярный мак, ива полярная, ягель, мхи и лишайники, лютики, вейник суховидный и другие растения.

Большие площади в арктических тундрах занимают полигональные гипновые болота.

Тундровая зона располагается южнее зоны арктических пустынь, главным образом, на Крайнем Севере России, протягиваясь вдоль побережья морей Северного Ледовитого океана. Она занимает около 13% площади нашего государства. В тундре тип почвообразования определяется низкой температурой, наличием многолетней мерзлоты и избыточным увлажнением. Низкая температура затрудняет в почве химический и биологический

процессы. Почвы в тундре имеют небольшую мощность, малое содержание гумуса, грубый механический состав и сильно заболочены. Вследствие избыточного увлажнения в этой зоне наблюдается оглеение почвы. Типичные почвы в тундре — поверхностно-глеевые и торфяно-глеевые.

Неблагоприятные условия произрастания растений определяют малую продуктивность биомассы в тундре. Почвенные растворы и грунтовые воды имеют кислую реакцию, малую минерализацию и содержат большое количество органических веществ.

Для тундры характерны три подзоны: 1) арктическая тундра; 2) типичная тундра; 3) южная тундра.

Арктическая тундра расположена на северной окраине азиатской тундры. Растительность здесь представлена различными видами зеленых мхов и лишайниками.

Типичная лишайниково-моховая тундра широко распространена от о. Вайгач до р. Колыма. Растительность здесь представлена мхом и лишайниками.

Южная тундра носит название кустарниковой. Растительность в этой тундре представлена в виде трех ярусов. Верхний ярус — кустарники, средний — травянистая растительность и нижний — лишайниково-моховый. Кустарниковый ярус представлен карликовыми березками, кустарниковыми ивами и голубикой. Для среднего яруса наиболее типична осока и мелкие кустарнички брусники, водяники. В лишайниково-моховом ярусе господствуют бурые и зеленые мхи.

Лесотундра простирается узкой полосой южнее тундры на морских, ледниковых и аллювиально-озерных равнинах. Лесотундра — это переходная зона от тундры к лесу. Важнейшей особенностью этой зоны является наличие островных лесов на водоразделах. Высота деревьев составляет 6–8 м. Леса сильно разрежены. Разреженность леса обусловлена наличием многолетнемерзлых грунтов и переувлажнением, а также суровыми климатическими условиями. Леса представлены сибирской елью, сибирской и даурской лиственницами и березой. Для лесотундры характерно большое количество сфагновых торфяников.

Основной тип почв этой зоны — тундрово-мерзлотные болотные, по поймам рек распространены дерново-луговые.

Лесная зона на территории Российской Федерации простирается от ее западной границы до подножия Верхоянского хребта на востоке. Она зани-

мает обширные пространства Восточно-Европейской, Западно-Сибирской равнин и Средне-Сибирского плоскогорья. У подножий гор Урала, Алтая, Саян, Байкальской горной территории, а также гор Верхоянского хребта и Сетте-Дабан таежные леса равнины смыкаются с горно-таежными. Лесная зона занимает примерно 45% территории России. Она расположена в пределах платформенных морфоструктур: пластовых аккумулятивных равнин и плато, перекрытых мореной, зандрами и озерно-аллювиальными отложениями. Лесная зона находится в двух климатических поясах: субарктическом и умеренном. Поэтому природные условия этой зоны существенно различаются внутри нее.

Годовая сумма осадков в пределах рассматриваемой зоны изменяется от 700–600 мм на западе до 500–200 мм на востоке. На Дальнем Востоке осадки в пределах лесной зоны изменяются от 500 до 900 мм. Сумма атмосферных осадков превышает испарение и транспирацию влаги растениями. Поэтому в этой зоне наблюдается обилие поверхностных вод, промывной водный режим почв и заболачивание территории не только в речных долинах, но и на плоских водоразделах.

В лесной зоне преобладают дерново-подзолистые, подзолисто-болотные и мерзлотно-таежные почвы. Основной тип растительности рассматриваемой зоны — леса из хвойных, летне-зеленых мелколистных и широколиственных пород. В лесной зоне выделяются две подзоны: 1) хвойных лесов (тайга) и 2) смешанных и широколиственных лесов. Среди лесов широко распространены луга, сфагновые и травянистые болота. Подзона смешанных и широколиственных лесов развита лишь на Восточно-Европейской равнине и Дальнем Востоке.

В подзоне тайги леса состоят из сосны, лиственницы, ели, пихты, сибирского кедра. Видовой состав западной и восточной тайги различен.

В подзоне смешанных и широколиственных лесов Восточно-Европейской равнины произрастают дуб, клен, липа, ясень и другие деревья. Из хвойных пород на западе равнины растут ель и сосна, а на востоке появляется пихта.

Смешанные и широколиственные леса Дальнего Востока расположены в южной части бассейна Амура.

В лесной зоне на избыточно увлажненных участках широко распространены низинные, переходные и верховые болота.

Лесостепная зона является переходной между лесом и степью. Поэтому лесостепь отличается

сочетанием лесной и степной растительности, подзолистых и черноземных почв, умеренно влажным лесным и полузасушливым степным климатом. Эта зона в пределах России протянулась от ее западной границы до предгорий Алтая непрерывной полосой через Восточно-Европейскую равнину, Южный Урал и Западно-Сибирскую равнину. Восточнее р. Томь рельеф возвышенный, поэтому лесостепь сформировалась только на пониженных территориях отдельными изолированными участками у Красноярска, Канска, Иркутска и в межгорных котловинах Алтая, Саян и Забайкалья.

Почвы в рассматриваемой зоне образованы в условиях переменного увлажнения преимущественно на лессовидных суглинках и лессах, частично на аллювии. Серые лесные почвы на Восточно-Европейской равнине преобладают под лесами, а выщелоченные и оподзоленные черноземы — под степной растительностью. В Западно-Сибирской лесостепи сформированы лугово-черноземные почвы на слабодренированных равнинах. В западинах, около озер, находятся засоленные почвы: солоды, солонцы и солончаки.

В европейской лесостепи основная лесобразующая порода — дуб. Лесные массивы заходят к югу до 48° с. ш.

В Западной Сибири лесные массивы распространены по западинам плоских водоразделов и представлены березовыми рощами — колками.

Местоположение лесостепи между лесом и степью определяет состав ее фауны. Северные районы лесостепи характеризуются преобладанием лесной фауны, а южные — степной.

Степная зона России занимает обширные пространства на юге Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. Сплошная полоса степей на восток простирается до предгорий Алтая. К востоку от долины Оби степь распространена отдельными участками. Степная зона занимает около 20% площади территории нашего государства. Она раскинулась на крупных возвышенностях (Среднерусской, Приволжской, Ставропольской, Ишимской равнине, Приобском плато и др.) и низменностях (Прикаспийской, Барабинской и др.)

Характерной чертой степной зоны является безлесие. До распахки степной территории всюду господствовала травянистая растительность с преобладанием ковыля, типчака, тонконога, степного овса и мятлика. Разнотравные степи занимали только северные территории рассматриваемой зоны.

При движении к югу разнотравные степи сменяются на ковыльно-типчаковые.

Почвы северных степей представлены мощными черноземами. Они характеризуются наибольшим содержанием гумуса — 8–10%. Южнее содержание гумуса в черноземной почве понижается до 6%, а еще южнее под типчаково-полынной растительностью формируются каштановые почвы с содержанием гумуса менее 3–4%. В местах значительного скопления солей среди каштановых почв образуются засоленные почвы — солончаки с соляноквой растительностью.

Полупустынная зона в пределах России тянется от возвышенности Ергени к востоку. К полупустыне следует отнести, в первую очередь, российскую часть Прикаспийской низменности.

В распределении почвенно-растительного покрова полупустыни характерна непрерывная смена разных подтипов каштановых почв и засоленных почв-солонцов и солончаков. Такая пестрота почвенно-растительного покрова фиксируется растительностью и определена большим количеством западин. Все западины покрыты растительностью.

Субтропическая зона в пределах России занимает малую площадь.

Влажные субтропики занимают восточное побережье Чёрного моря к югу от Туапсе, а также склоны Большого Кавказа до отметки 500 м, прибрежную равнину Каспийского моря (территория Республики Дагестан).

Почвенный покров здесь представлен красноземами. Эти почвы содержат большое количество перегноя и развиты под широколиственными лесами. На красноземах выращивают чай, цитрусовые.

Сухие субтропики расположены по Черноморскому побережью Кавказа к северу от Туапсе до Анапы. Растительность сухих субтропиков представлена лесами из пушистого дуба, древовидного можжевельника и пицундской сосны. Широко распространены заросли шибляка и фриганы.

Высотная зональность (поясность)

На территории Российской Федерации расположено много горных систем, плоскогорий, нагорий, плато, хребтов, кряжей, возвышенностей и других элементов горного рельефа. Поэтому географическая (широтная) зональность по территории страны нарушается. Однако на указанных эле-

ментах рельефа зональность находит отражение в виде так называемой высотной поясности. С поднятием территории трансформируется климат, почвенно-растительный покров, гидрологические и геоморфологические процессы, резко выступает фактор экспозиции склонов и т. д.

С изменением указанных компонентов природы изменяются природные комплексы и образуются высотные природные пояса. Явление смены природно-территориальных комплексов с высотой — это высотная поясность или вертикальная высотная зональность.

Каждая горная система имеет свою структуру. У подножия хребта Пай-Хой, гор Бырранга, Чукотки расположены арктические пустыни и тундры, у подножия гор Северо-Востока, Хибин, Приполярного, Северного и Среднего Урала, Путорана, Алданского нагорья, Вилуйских гор, Прибайкалья и Забайкалья, гор Дальнего Востока находится лесная зона. Равнинные леса поднимаются по склонам гор и переходят в горные леса. У подножия Кавказа, Южного Урала, Западного и Южного Алтая, Восточного Забайкалья простираются лесостепи и степи.

Высотная дифференциация природно-территориальных условий выражена даже на холмистых и приподнятых равнинах и плато, например, на Среднерусской возвышенности, Среднесибирском плоскогорье и т. д. Повсюду в природе наблюдается, что в горных системах с увеличением высоты местности постепенно, в связи с изменением многих элементов природной среды, происходит смена географических зон в порядке, аналогичном их последовательности изменений с юга на север на равнине. Действительно, в горных системах по направлению снизу вверх смена зон происходит от степной у подножия до горно-арктической на больших высотах. В этом же направлении меняются климат, почвы и растительность.

2.2.4. Гидрография

2.2.4.1. Главнейшие водоразделы

В тесной связи с рельефом местности, климатом, геологическим строением, почвенно-растительным покровом находится гидрография Российской Федерации.

Территория России водораздельными возвышенностями, горами и хребтами разделена на четыре основных бассейна (рис. 2.4): Северного Ле-

довитого, Атлантического и Тихого океанов и область внутреннего стока (бассейн Каспийского моря). Около 70% территории Российской Федерации дренируется реками, впадающими в окраинные моря Северного Ледовитого океана: Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Центральную часть этого бассейна составляют водосборы величайших рек мира: Оби, Енисея и Лены. К бассейну Северного Ледовитого океана относятся также многие другие водосборы больших рек: Онеги, Северной Двины, Мезени, Печоры, Яны, Индигирки, Колымы, Поной, Туломы и др. В табл. 2.1 приводятся сведения по площадям бассейнов морей указанных выше океанов и области внутреннего стока.

К бассейну Атлантического океана относятся водосборы рек центральной и западной частей Европейской территории России, расположенные к западу от Приволжской, Средне-Русской и Валдайской водораздельных возвышенностей и изливающие свои воды в Балтийское, Азовское и Чёрное моря. Крупнейшие реки этого бассейна: Нева, Западная Двина, Неман, Днепр, Дон, Кубань. Рассматриваемый бассейн занимает 4,6% площади Российской Федерации.

К бассейну Тихого океана относятся реки, водосборы которых расположены в восточной части нашего государства. Это в основном реки, стекающие со склонов Яблонового и Станового хребтов, хребтов Джугджур и Колымского, р. Камчатки, острова Сахалин и Курильских островов, Карагинского острова, Командорских островов, Шантарских островов, то есть это все реки, принадлежащие окраинным морям Тихого океана: Берингову, Охотскому, Японскому и непосредственно самому океану. Площадь, речная сеть которой тяготеет к бассейну Тихого океана, занимает примерно около 14,0% территории России. Главными реками этого бассейна являются: Амур, Анадырь, Уда, Пенжина, Камчатка, Великая, Тымь и др.

К области внутреннего стока (бассейн Каспийского моря) относятся реки: Волга, Урал, Сулак, Самур, Терек и др. Этот бассейн охватывает 9,8% территории Российской Федерации.

Главный водораздел между реками, текущими в моря Северного Ледовитого, Атлантического и Тихого океанов, начиная с запада, образуют: 1) возвышенность Манселья, расположенная на границе России и Финляндии; 2) Северные Увалы — главный широтный водораздел Европейской части России, отделяющий реки северного и южного на-

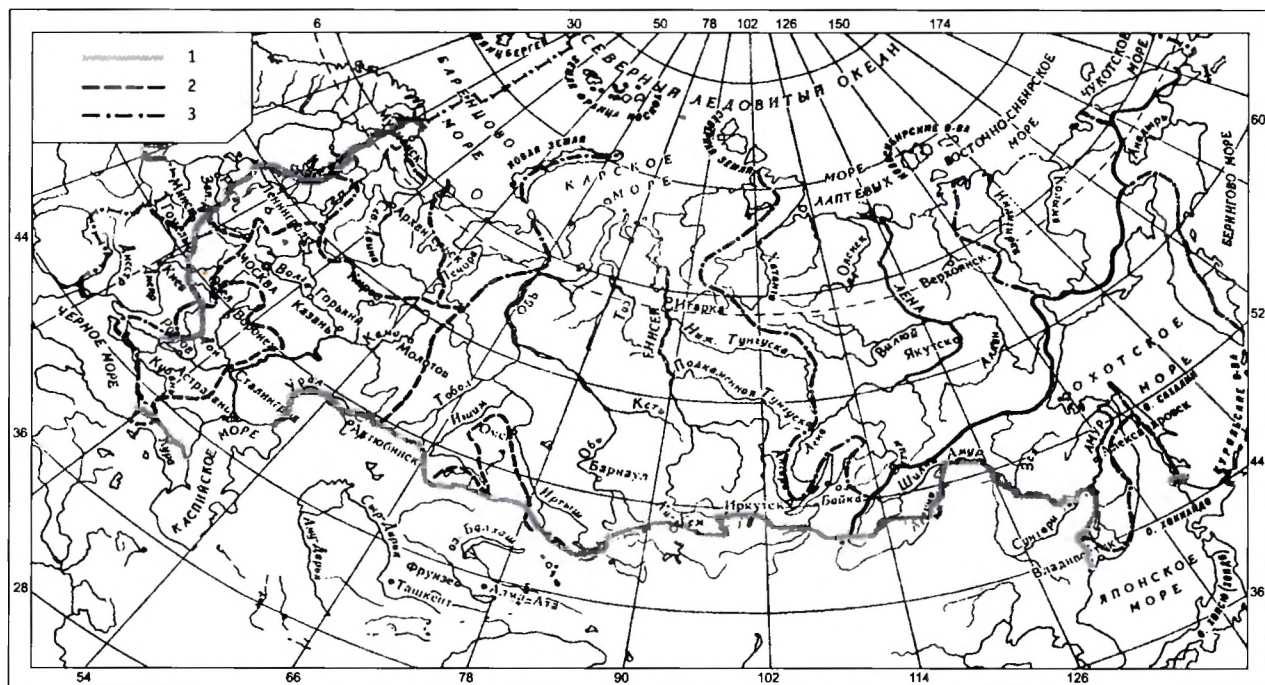


Рис. 2.4. Основные водоразделы на территории Российской Федерации:

1 — мировой водораздел; 2 — водоразделы между бассейнами океанов и областью внутреннего стока;
3 — водоразделы между бассейнами морей

правлений; 3) Средний и Южный Урал, являющийся водоразделом между бассейнами Волги и Оби; 4) Тургайская возвышенность, Казахская складчатая страна, Алтай и Саяны, отделяющие бассейны Оби и Енисея от бессточного Арало-Балхашского бассейна и центральноазиатских пустынь; 5) хребты Яблоновый, Становой, Джугджур и Колымский, являющиеся водоразделом между бассейнами Северного Ледовитого и Тихого океанов.

Водоразделы между реками, принадлежащими к бассейну Атлантического океана и реками Каспийской области внутреннего стока, образуют, начиная с севера, Валдайская, Средне-Русская, Приволжская и Ставропольская возвышенности, а также Главный Кавказский хребет.

Каспийская область внутреннего стока оконтуривается с юга водораздельной линией, которая выходит далеко за пределы нашей страны.

В горных частях России водоразделы обычно четко выражены и совпадают с наиболее высокими отметками горных цепей. Однако в ряде случаев наиболее возвышенные участки хребтов являются лишь второстепенными водоразделами. На Большом Кавказе водораздельный Главный Кавказский хребет в центральной своей части ниже располо-

женного в 10–15 км к северу и параллельного ему Бокового хребта. Такое же явление наблюдается и на Урале, где водораздельный хребет, на юге называемый Урал-Тау, а на севере — Поясовым Камнем, часто уступает по высоте боковым хребтам. То же самое встречается и в области Станового хребта, в районе водораздела рек Алдан и Зeya, а также в ряде других горных районов.

На равнинных территориях Российской Федерации водоразделы часто едва заметны. Иногда на водоразделах располагаются озера и болота, воды которых постоянно или периодически (во время снеготаяния или выпадения продолжительных осенних дождей) стекают в нескольких противоположных направлениях. То есть происходит деление их вод по граничащим друг с другом речным бассейнам. Например, оз. Парусное расположено в болотистой долине южной части полуострова Каннин. Из этого озера вытекают две реки: Чижа, впадающая в Мезенскую губу Белого моря, и Чеша, сбрасывающая свои воды в Чешскую губу Баренцева моря.

Верховья бассейнов Волги, Западной Двины и Днепра соединены между собой. Исток Западной Двины находится в обширном болоте. На высотах

221–223 м среди этого болота расположены два озера. Одно из них питает Западную Двину, другое — Волгу.

Днепр вытекает из заросшего лесом мохового болота на высоте 250 м. Часть вод этого болота стекает в р. Обша — приток Западной Двины. Сама Обша вытекает из небольшого болота, где берет начало один из притоков Днепра. Такая же картина характерна и для водораздельных заболоченных участков Оби (р. Кость — р. Озерная) и Енисея (Малый Кас) и для некоторых других речных бассейнов.

Реки Российской Федерации несут свои воды в котловины 12 морей, имеющих непосредственную связь с Мировым океаном, а также в Каспийское море, являющееся приемником вод, формирующихся в этой области внутреннего стока Евразии. Территории, с которых осуществляется сток рек непосредственно в моря, имеющие связь с Мировым океаном, называются областями внешнего стока.

В табл. 2.1 приводятся сведения о площадях областей внешнего и внутреннего стока, с которых осуществляется сток в соответствующие моря, омывающие территорию Российской Федерации.

Таблица 2.1

**Площади бассейнов морей,
омывающих территорию России**

Море	Площадь бассейна, тыс. км ²
Балтийское	256,97
Азовское	464,08
Чёрное	63,62
Баренцево	525,70
Белое	709,80
Карское	5739,50
Лаптевых	3692,90
Восточно-Сибирское	1295,50
Чукотское	101,00
Берингово море и Тихий океан	569,70
Охотское	1695,40
Японское	124,30
Каспийское	1675,37
Бессточные области Урала и Сибири	161,59

2.2.4.2. Крупнейшие реки, озера, водохранилища и каналы

Реки

В пределах Российской Федерации протекает 5 рек с площадью водосбора, превышающей 1 млн км², и около 50 рек с площадью водосбора, превышающей 100 тыс. км².

Река Обь собирает воды со своего бассейна площадью 2,99 млн км², реки Енисей, Лена и Амур имеют площади бассейнов, превышающие 2 млн км². Приток Оби — р. Иртыш и приток Енисея — р. Ангара имеют площади водосборов, превышающие 1,0 млн км².

Река Волга, первая по величине бассейна, длине и водоносности рек Европы, имеет площадь водосбора, равную 1,38 млн км². По величине этой площади она занимает пятое место в России.

Енисей, Лена, Обь и Амур относятся к величайшим рекам мира. По величине площади бассейна Обь занимает 5-е место в мире, уступая Амазонке, Паране, Конго, Миссисипи, Енисей — 6-е, а Лена — 7-е.

По длине Енисей занимает 1-е место в мире (считая за его исток р. Селенга, длина Енисея составляет 5940 км), Обь (принимая за ее исток р. Иртыш) — 3-е место, Лена — 8-е место, а Амур — 9-е место.

Длина р. Волга равна 3690 км. По своей длине Волга занимает 5-е место в России.

В табл. 2.2 приведены сведения о количестве рек России, в том числе и их притоков, с площадями водосборов более 50 тыс. км². В табл. 2.3 даны гидрографические характеристики крупнейших рек нашей страны. Здесь не приводятся притоки крупнейших рек нашей страны (Ока, Кама, Иртыш, Ангара, Алдан и др.), которые по своим размерам существенно превосходят многие указанные реки (Алдан, Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска,

Таблица 2.2

**Количество рек России с площадями водосборов
более 50 тыс. км²**

Площадь водосбора, тыс. км ²	Европейская часть России	Азиатская часть России	Всего
50–100	16	35	51
101–300	5	21	26
301–500	3	6	9
501–1000	1	2	3
>1000	1	6	7

Ангара и др.). Всего же в пределах России протекает около 2,5 млн рек, ручьев и временных водотоков, а в пределах бывшего СССР их количество превышает 2,9 млн рек.

Таблица 2.3

Крупнейшие реки Российской Федерации

№ п/п	Река	Площадь водосбора, км ²	Длина, км
1	Обь	2 990 000	5570
2	Енисей	2 619 000	5940
3	Лена	2 478 000	4270
4	Амур	2 050 000	4060
5	Волга	1 380 000	3690
6	Колыма	665 000	2600
7	Дон	422 000	1970
8	Хатанга	422 000	1510
9	Индигирка	362 000	1790
10	Северная Двина	360 000	1310
11	Печора	327 000	1790
12	Нева	281 000	74
13	Яна	238 000	1170
14	Оленёк	231 000	2415
15	Анадырь	200 000	1170
16	Урал	173 070	—
17	Пясины	178 000	680
18	Таз	142 000	780
19	Пур	120 000	500
20	Таймыра	102 000	636
21	Мезень	76 500	910
22	Пенжина	75 200	640
23	Алазея	64 400	1400
24	Уда	64 100	—
25	Онега	57 900	416
26	Камчатка	55 700	700

Озера

Российская Федерация занимает второе место в мире после Канады по площади, занятой озерами (без учета Каспийского моря).

Распределение крупнейших озер в зависимости от площади водной поверхности для Европейской (ЕТР) и Азиатской (АТР) частей России (по данным Лаборатории гидроэкологических исследований внутренних водоемов суши ГУ «ГГИ») представлено в табл. 2.4.

Наибольшие площади водной поверхности (без учета Каспийского моря) имеют оз. Байкал —

31 722 км², Ладожское — 17 872 км² и Онежское — 9693 км². У указанных озер значения площадей водной поверхности даны без островов. Наиболее глубоким озером является Байкал. Максимальная глубина этого озера достигает 1642 м.

Таблица 2.4

Количество и распределение крупнейших озер по территории России

Площадь водной поверхности, км ²	ЕТР	АТР	Россия	Суммарная площадь, км ²
250–500	5	16	21	7344
501–1000	0	5	5	3415
>1000	4	4	8	74 020
Всего	9	25	34	84 779

Водохранилища

В Советском Союзе для регулирования речного стока в XX в. было построено довольно много водохранилищ, которые по существу являются элементами современной гидрографической сети. Многие из указанных водохранилищ — крупнейшие в мире, и по своим размерам (табл. 2.5) не уступают крупным озерам. Самым большим из них (без учета водохранилищ Иркутской и Верхне-Свирской ГЭС, в состав которых вошли Байкал и Онежское о.) является Куйбышевское, образованное плотиной Волжской ГЭС им. В. И. Ленина. Это водохранилище по площади зеркала является не только самым большим в России, но и во всем мире. По емкости же наибольшим в России и практически в мире является Братское водохранилище на Ангаре, полный объем которого более чем в три раза превышает объем воды Куйбышевского водохранилища.

Суммарная площадь водной поверхности действующих водохранилищ России, по данным Лаборатории гидроэкологических исследований внутренних водоемов суши ГУ «ГГИ», составляет 62 400 км², полный объем воды — более 790 км³, а полезный — более 324 км³.

Каналы

С развитием общества и созданием соответствующих технических средств возросли масштабы преобразований, вносимых в гидрографическую сеть в результате хозяйственной деятельности человека. По существу в конце XIX в. и особенно в

Таблица 2.5

Сведения о крупнейших водохранилищах России

№ п/п	Название водохранилищ	Река, озеро	Год заполнения	Площадь зеркала при НПУ, км ²
1	Богучанское	Ангара	строящееся	2325
2	Братское	Ангара	1961–1967	5478
3	Бурейское	Бурья	строящееся	740
4	Верхнетуломское	Тулома	1963–1964	745
5	Вилуйское	Вилуй	1965–1972	2176
6	Водлозерское	Водла, оз. Водлозеро	1934	370
7	Волгоградское	Волга	1958–1960	3117
8	Воткинское	Кама	1961–1964	1120
9	Выгозерское	Нижний Выг	1932–1933	1250
10	Горьковское	Волга	1955–1957	1591
11	Зейское	Зея	1974	2119
12	Иваньковское	Волга	1937	327
13	Волховское	Волхов, оз. Ильмень	1926–1929	1102
14	Имандровское	Нива	1936	876
15	Инари (Финляндия, Россия)*	Паатсойоки (Паз)	1942	1100
16	Иовское	Иова (Ковда)	1960–1961	294
17	Ириклинское	Урал	1958–1966	260
18	Иркутское	Ангара, оз. Байкал	1956–1959	31876
19	Княжегубское	Ковда, оз. Ковдозеро	1955–1957	610
20	Колымское	Колыма	1983	443
21	Краснодарское	Кубань	1973–1975	400
22	Красноярское	Енисей	1967	2000
23	Кубенское	Сухона, оз. Кубенское	1828–1917	648
24	Куйбышевское	Волга	1955–1957	6448
25	Кумское	Кума, оз. Плязеро, Топозеро	1962–1966	1910
26	Курейское	Курейка	1979	558
27	Нижнекамское**	Кама	1971	1000
28	Новосибирское	Обь	1957–1959	1070
29	Верхне-Свирское	Свирь, Онежское оз.	1951–1952	9922
30	Пролетарское	Маньч	1941	798
31	Рыбинское	Волга	1940–1949	4550
32	Саратовское	Волга	1967–1968	1831
33	Саяно-Шушенское	Енисей	1980–1987	621
34	Сегозерское	Сегежа	1967	815
35	Усть-Илимское	Ангара	1974–1977	1922
36	Цимлянское	Дон	1952–1953	2702
37	Чебоксарское**	Волга	1982–1985	1080
38	Шекснинское	Шексна, оз. Белое	1963–1964	1670
39	Юшкозерское*	Кемь, оз. Юшкозеро	1980	695

Примечания. * Авакян и др., 1987; ** водохранилища работают при пониженных (по сравнению с проектными) отметках урвни воды, характеристики приведены для современных отметок.

XX в. происходила реконструкция целых речных бассейнов, коренное изменение гидрографии и режима вод суши, приспособление ее к интересам хозяйства и общества. Особенно большой размах эти мероприятия приняли в СССР в условиях плановой экономики. Именно тогда планы реконструкции бассейнов рек Волга и Днепр были близки к полному завершению, осуществлялись грандиозные водохозяйственные мероприятия в бассейнах Енисея, Ангары, Лены и многие другие.

Составной частью гидрографии России помимо рек, озер и водохранилищ являются каналы.

Каналы — это сооружения, представляющие искусственно вырытые русла для воды. По своему назначению различают каналы судоходные, соединяющие два отдельных бассейна (например, Волго-Донской канал, канал имени Москвы и др.), обходные (обводные) — на реках и озерах в местах, затрудняющих судоходство (например, Белозерский и Онежский обводные каналы).

Для орошения недостаточно увлажненных земель созданы оросительные каналы (например, Большой Ставропольский канал, Терско-Кумский канал и др.), для отвода воды при осушении болот и заболоченных земель — осушительные. Существуют также обводнительные и водопроводные каналы, подводящие воду к населенным пунктам, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям.

В нашей стране отдельные каналы или их системы строились с начала XVIII в. Одним из первых искусственных водных путей в России является Вышневолоцкая система. Этот водный путь простирался от г. Рыбинска до г. Санкт-Петербурга. Строительство указанной системы началось в 1703 г. с сооружения канала между реками Цна и Тверца. В 1709 г. эта система, связавшая Волгу, Тверцу, Цну, Мсту, Волхов и Неву, была открыта. Мариинская система, протяженностью 361 км, была построена в 1810 г.

В Северном крае для целей судоходства в 1828 г. был построен Волжско-Северодвинский водный путь длиной 135 км, соединяющий через Сухону оз. Кубенское и р. Шексна, бассейны Северной Двины и Волги. В состав этой системы входят: Топоринский канал, водораздельный бьеф, включающий ряд малых озер и каналов, р. Порозовица, оз. Кубенское и р. Сухона.

В Северо-Западном районе был построен ряд соединительных водных систем. Бассейн Балтийского моря соединен с бассейном Волги тремя сис-

темами: Вышневолоцкой, Тихвинской и Мариинской. Трасса Вышневолоцкой системы проходит от г. Тверь по р. Тверца, по Вышневолоцкому водораздельному каналу, р. Цна, оз. Мотино, р. Мста, Сиверсову и Вишерскому каналам (в обход оз. Ильмень), Волхову, по обводному Ладожскому каналу, Неве к Санкт-Петербургу.

Тихвинская система проходит от Волги по Мологе, по Чагодоше и ее притоку Соминке, далее по Тихвинскому водораздельному каналу, по рекам Тихвинка и Сясь, Ладожскому оз. и р. Нева. Обе эти системы давно утратили свое былое значение и не используются для сквозного судоходства.

Мариинская система реконструирована коренным образом в течение 1959—1964 гг., и на ее месте создан новый Волго-Балтийский водный путь. На трассе рассматриваемого канала сооружено пять гидроузлов.

Волго-Балтийский водный путь — крупнейшее в мире гидротехническое сооружение.

В пределах Карелии в 1856 г. для соединения обширного Сайменского бассейна (Финляндия) с Балтийским морем был построен Сайменский канал. В 1962 г. советским и финским правительствами было заключено договорное соглашение, в соответствии с которым этот канал был предоставлен в аренду Финляндии.

Из других каналов данной территории следует отметить обводные каналы, построенные для обеспечения безопасного плавания вдоль южных берегов Ладожского и Онежского озер.

На территории Карелии и Кольского полуострова создано несколько каналов. В 1929 г. построено Сандальское водохранилище. Между оз. Сандаль и Онежским был прорыт канал, на котором сооружена Кондопожская гидроэлектростанция. В последующем на Кондопожскую ГЭС были направлены воды р. Суна с помощью Гирвасской плотины и Суна-Пальеозерского канала через оз. Палье и Сандальское водохранилище. Огромное народнохозяйственное значение имеет Беломоро-Балтийский канал, построенный в 1931—1932 гг. Этот канал, длиной 227 км, связывает Белое и Балтийское моря. Его путь проходит следующим образом: р. Нева — Ладожское оз. — р. Повенчанка — р. Телекин-ка — оз. Выгозеро — р. Нижний Выг.

Реки южного склона Европейской части России — Волга, Дон и другие — издавна использовались как транспортные магистрали.

В 1937 г. введен в эксплуатацию канал имени Москвы, соединивший р. Волга со столицей наше-

го государства — Москвой. Длина этого канала — 128 км.

В 1952 г. было завершено строительство Волго-Донского судоходного канала длиной 101 км.

На территории Северного Кавказа создан ряд водных систем, предназначенных, в первую очередь, для нужд орошения. В районе станицы Невинномысской в 1948 г. сооружена плотина на р. Кубань, и часть ее вод направлена в русло р. Егорлык и далее в Западный Маныч. Воды ее используются на орошение и на наполнение Пролетарского и Веселовского водохранилищ, питающих приток Дона — Западный Маныч, входящий в состав Кумо-Манычского водного пути. С помощью этой оросительной системы орошается более 5,5 млн га засушливых земель Ставропольского плато.

В 1957 г. закончилось строительство Большого Ставропольского канала. Этот канал обеспечивает водой четыре ГЭС и группу городов Кавказских Минеральных Вод. Канал забирает воду из р. Кубань в количестве до 180 м³/с.

В 1960 г. начал функционировать Терско-Кумский канал, проходящий по междуречью Терека и Кумы. Длина канала — 150 км. Воды Терека орошают 2,0 млн га в Ногайской степи и 3,5 млн га Черных земель.

Самур-Дивичинский канал снабжает водами р. Самур земли оросительных систем, расположенные параллельно Каспийскому морю. Воды этого канала используются также для водоснабжения Апшеронского полуострова. На указанных территориях в настоящее время действуют и другие каналы, в том числе оросительного назначения.

Общие сведения о наиболее известных каналах приведены в табл. 2.6.

На территориях Западной Сибири, Восточной Сибири и Дальнего Востока создано много водохранилищ, но каналов по существу нет. Таким образом, созданные в России каналы стали искусственной гидрографической сетью нашей страны.

Таблица 2.6

Крупнейшие судоходные каналы и магистральные каналы оросительных систем Российской Федерации

Канал	Длина, км	Пропускная способность, км ³ /год	Река или бассейн	Год создания	Назначение
Беломоро-Балтийский	227		Белое море — Онежское оз.	1931–1932	Судоходство
Приладожские каналы	111		Ладожское оз.		Судоходство
Сайменский	43		Сайменское оз. — Балтийское м.	1856	Судоходство
Волжско-Северодвинский	135		р. Волга — р. Сев. Двина	1828	Судоходство
Волго-Балтийский	361 (Маринская система)		р. Нева — р. Волга	1810 (1959–1964)	Судоходство
Канал им. Москвы	128	2,3	р. Москва — р. Волга	1937	Судоходство
Волго-Донской	101	3,15	р. Волга — р. Дон	1952	Судоходство
Волго-Каспийский	210		дельта Волги — Каспийское м.		Судоходство
Донской магистральный	110	7,88	реки Дон-Сал-Маныч	1958	Орошение
Большой Ставропольский	160	5,68	р. Кубань	1957	Орошение
Невинномысский	50	2,37	р. Кубань	1948	Комплексное назначение
Терско-Кумский	150	3,15	р. Терек	1961	Комплексное назначение
Ногайское ГУ ЗОС	108 Дельтовый 139 Дзержинский		р. Терек		Орошение
Кумо-Манычский		1,89	реки Кума — р. Маныч	1948	Судоходство Орошение
Саратовский		1,77	реки Волга — р. Бол. Иргиз		

2.3 ОСТРОВА

Территория России состоит из материковой части Евразии и ряда архипелагов и отдельных островов.

Общая площадь материковой части Российской Федерации составляет 16 777,4 тыс. км². Лишь около 1,75% площади территории нашей страны приходится на острова и архипелаги.

Островная часть России входит территориально в соответствующие субъекты нашего государства. Эти территории слабо заселены, однако они играют заметную роль в экономике нашей страны. Ниже кратко рассмотрим наиболее крупные архипелаги и острова России.

Архипелаг Земля Франца-Иосифа расположен на северо-востоке Баренцева моря (см. цв. вкл., рис. 3). Территориально он принадлежит Архангельской области России. Архипелаг состоит из 191 острова. Общая площадь его территории составляет 16 134 км².

Большинство островов рассматриваемого архипелага представляют собой покрытые ледниками (общей площадью 13 735 км²) останцы обширного базальтового плато высотой до 620 м. Главными элементами ледниковых покровов являются ледниковые купола и выводные ледники, от фронтальных обрывов которых откалываются айсберги. Свободная ото льда поверхность островов, имеющая холмистый рельеф, представлена небольшими «оазисами», мысами и нунатаками.

Климат архипелага арктический. Среднегодовое значение температуры воздуха в январе месяце близко к -24°C , а минимальная температура составляет -52°C . Среднегодовое значение температуры воздуха в июле месяце колеблется от $-1,2^{\circ}\text{C}$ до $1,6^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое значение годовой температуры воздуха на архипелаге составляет около -12°C .

Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах от 200 до 550 мм.

Гидрография архипелага представлена озерами и реками. На островах находится около 1000 озер глубиной до 10 м и площадью акватории до 2,0 км², и несколько рек длиной 10–15 км. В ландшафтном отношении острова архипелага относятся к зоне арктических пустынь (Кузин, Бабкин, 1979).

Между Баренцевым и Карским морями в Северном Ледовитом океане находится архипелаг Новая Земля. Территориально он входит в состав Архангельской области. Рассматриваемый архипелаг со-

стоит из двух больших островов — Северного и Южного, разделенных проливом Маточкин Шар, и многих малых. Этот архипелаг протягивается с юго-запада на северо-восток на 925 км. Площадь всех островов данного архипелага превышает 83 000 км². На юге исследуемая данная отделяется от острова Вайгач проливом Карские Ворота.

Вдоль островов архипелага протягивается горный хребет с высотами до 1547 м. Горы глубоко расчленены речными и ледниковыми долинами. В южной части Южного острова местность понижается и переходит в равнину с высотами до 100–150 м. Повсеместно распространена вечная мерзлота.

Речная сеть на островах рассматриваемого архипелага развита слабо, особенно на острове Северном. Южнее Северной Сульменевоу губы на Новой Земле протекают довольно значительные для этого острова реки — Гусиная, Митюшина, Промысловая и др. На Южном острове находится бассейн крупнейшей реки архипелага — Безымянная.

Климат Новой Земли морской арктический, суровый. Зима здесь продолжительная и холодная. Температура воздуха нередко понижается до -40°C . Среднее значение температуры воздуха в самом холодном месяце года — марте — колеблется от -14°C до -22°C . Зимой обычно наблюдаются сильные ветры со скоростью 40–50 м/с.

Среднее значение температуры воздуха на островах в августе колеблется от $2,5^{\circ}\text{C}$ до $6,5^{\circ}\text{C}$, а годовое количество осадков — от 300 до 600 мм и более. Примерно половину площади острова Северный занимают ледники, в том числе 20 000 км² площади составляет сплошной ледяной покров. Этот покров простирается на 400 км в длину и на 70–75 км в ширину. Мощностъ ледяного покрова превышает 300 м. В ряде мест лед опускается в фьорды или обрывается в открытое море широкими выводными ледниками, давая начало айсбергам.

Северный остров и часть Южного острова относятся к зоне арктических пустынь. Большая часть Южного острова входит в зону тундр.

Площадь территории острова Колгуев составляет 5,2 тыс. км². Он находится в юго-восточной части Баренцева моря в 75 км от материка. Остров Колгуев входит в состав Ненецкого автономного округа Архангельской области.

Поверхность острова сильно всхолмленная, с крупными моренными холмами, достигающими отметок в 70–80 м. Южная часть острова представ-

ляет собой плоскую равнину. На острове находится много озер и болот. Берега острова изрезаны не сильно. В физико-географическом отношении этот остров целиком относится к зоне тундры.

На границе Баренцева и Карского морей находится остров Вайгач. Он отделен от материка проливом Югорский Шар, а от острова Новая Земля — проливом Карские Ворота. Территориально этот остров входит в состав Ненецкого автономного округа Архангельской области. Площадь острова Вайгач равна 3383 км², длина — 100 км, ширина — до 45 км.

Западные берега острова существенно изрезаны и имеют много заливов, а восточные — менее изрезаны и нередко скалисты.

В целом поверхность острова Вайгач равнинная, в его средней части расположены две параллельные гряды высотой до 140–170 м.

Климат на острове холодный. Среднее многолетнее значение температуры воздуха в феврале составляет –20 °С, а в июле — около +5 °С.

Большинство рек острова имеют незначительную длину, до 20–40 км. Они изобилуют порогами и водопадами. На острове много болот и небольших озер. Остров Вайгач целиком относится к зоне тундры (Тушинский, Давыдова, 1976).

Остров Белый находится в Карском море. Он отделен от полуострова Ямал проливом Маточкин Шар. Территориально он входит в Ямало-Ненецкий автономный округ Тюменской области. Площадь острова равна 1900 км². Поверхность рассматриваемого острова равнинная. Высотные отметки не превышают 24 м.

Архипелаг Северная Земля находится на границе Карского моря и моря Лаптевых к северу от полуострова Таймыр. От этого полуострова он отделяется проливом Вилькицкого. В административном отношении архипелаг входит в Таймырский автономный округ Красноярского края.

Архипелаг состоит из четырех больших островов (Октябрьской Революции, Большевик, Комсомолец, Пионер) и нескольких малых по размеру (Шмидта, Малый Таймыр, Старокадомского, Крупской и др.). Общая площадь всех островов составляет 37,6 тыс. км². Берега островов местами являются скалистыми и обрывистыми с высотами до 300 м.

Рельеф острова Большевик платообразный, острова Пионер — низкогорно-холмистый. На острове Октябрьской Революции распространены высоты до 200 м, а на острове Комсомолец — низменные равнины.

Ледниковые купола достигают отметок до 965 м. В прибрежных частях острова распространены террасированные низменные равнины.

Климат архипелага арктический. Среднее многолетнее годовое значение температуры воздуха составляет –14 °С. Лето короткое и холодное, зима продолжительная, суровая, отличающаяся большим количеством суток с метелями (до 100 суток) и сильными ветрами со скоростью до 40 м/с. Среднее значение температуры воздуха в январе колеблется от –28 °С до –30 °С, а в июле от –0,5 °С до –1,6 °С. Минимальные температуры воздуха зимой достигают –50 °С. Летом очень часто наблюдаются туманы. Осадков на островах архипелага выпадает от 150 до 450 мм в год.

Общая площадь ледников архипелага равна 17 472 км². Талые воды ледников питают множество небольших островных рек (р. Ушакова, Озерная и др.). Сравнительно большие озера глубиной до 100 м существуют вследствие подпруживающего влияния крупных выводных ледников, перекрывающих устья морских заливов. В физико-географическом отношении архипелаг Северная Земля представляет собой зону арктических пустынь (Большая Советская Энциклопедия, 1975, т. 22).

Архипелаг Новосибирские острова расположен к северу от побережья Восточной Сибири между морями Лаптевых и Восточно-Сибирским. В административном отношении он входит в состав Республики Якутия. Архипелаг состоит из трех групп островов: 1) Ляховские, площадью 6,1 тыс. км²; 2) Новосибирские (или Анжу), площадью 29 тыс. км²; 3) Де-Лонга.

Большая часть архипелага имеет равнинный рельеф. Наибольшая высотная отметка –374 м — находится на острове Котельный, входящем во вторую группу островов.

Климат архипелага суровый, арктический. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 9 месяцев. Среднее значение температуры воздуха за январь колеблется от –28 °С до –31 °С, а июля — от 1 до 3 °С.

Атмосферных осадков на острова архипелага выпадает очень мало — около 150 мм/год. На островах исследуемого архипелага повсеместно распространены многолетнемерзлые породы, подземные льды и озера.

В физико-географическом отношении рассматриваемый архипелаг относится к зоне арктических тундр.

Остров Айон находится в Восточно-Сибирском море недалеко от Чаунской губы. В административном отношении этот остров входит в состав Чукотского автономного округа. Площадь острова равна примерно 2000 км². Рельеф равнинный. На острове распространены подземные льды.

В физико-географическом отношении остров Айон относится к зоне арктических тундр.

Остров Врангеля находится на границе Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Административно он входит в состав Чукотского автономного округа. Площадь острова равна 7300 км². Центральная часть рассматриваемого острова занята горами с наибольшей отметкой 1096 м. Со всех сторон горы окружены равнинами. На острове много небольших озер.

Климат острова суровый. Среднегодовое значение температуры воздуха колеблется от -21,3 до -23,3 °С. Лето короткое, прохладное. Среднее значение температуры воздуха в июле составляет от 2 до 2,5 °С.

В течение всего года остров окружен барьером торосистых льдов. В горах острова имеются небольшие висаячие и карровые леднички.

В физико-географическом отношении остров Врангеля относится к зоне арктических тундр.

В 70 км к востоку от острова Врангеля в Чукотском море расположен остров Геральд. Территориально он относится к Чукотскому автономному округу. Площадь острова равна 10 км². Наивысшая отметка острова достигает 366 м. В физико-географическом отношении этот остров относится к тундровой зоне.

У восточного побережья Камчатки в Карагинском заливе Берингова моря находится Карагинский остров. Его площадь равна 2000 км². Высшая отметка достигает 912 м. В административном отношении остров входит в Камчатскую область. На западе берега острова невысокие, а на востоке — обрывистые и большей частью скалистые.

Западный остров из группы Командорских островов в Беринговом море носит имя В. Беринга. В административном отношении он принадлежит Камчатской области. Площадь острова равна 1660 км². Юго-восточная часть острова Беринга гористая. Самая высокая отметка острова — 751 м. Климат здесь субарктический. Осадков выпадает около 500 мм. В физико-географическом отношении остров относится к тундровой зоне.

Другие острова России, входящие в бассейн Тихого океана (Сахалин, Курильские и др.), кратко представлены в разд. 2.1.

Литература

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шаранов В. А. Водохранилища. — М.: Мысль, 1987. — 326 с.
- Алисов Б. П. Климат СССР. — М.: Высшая школа, 1969. — 128 с.
- Алпатыев А. М., Архангельский А. М., Подоплёлов Н. Я. Физическая география СССР. — Ч. II. — М.: Высшая школа, 1965. — 558 с.
- Алпатыев А. М., Архангельский А. М., Подоплёлов Н. Я. Физическая география СССР. — Ч. I. — М.: Высшая школа, 1973. — 334 с.
- Архипов С. А., Вдовин В. В., Мизеров Б. В., Николаев В. А. Западно-Сибирская равнина. — М.: Наука, 1970. — 279 с.
- Бабкин В. И. Механизм увлажнения и сток рек Русской равнины // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. — Томск: Изд-во НТЛ, 2000. — С. 12–15.
- Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф. Северо-Восток СССР. — М.: Наука, 1964. — 290 с.
- Берг Л. С. Природа СССР. — М.: Географгиз, 1955. — 496 с.
- Большая Советская Энциклопедия: РСФСР. — М., 1975. — Т. 22. — С. 622–644.
- Борисов А. А. Климатография Советского Союза. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1970. — 311 с.
- Борисов А. А. Климаты СССР в прошлом, настоящем и будущем. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. — 432 с.
- Будыко М. И. Климат и жизнь. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 482 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 301 с.
- Гвоздецкий Н. А. Кавказ. — М.: Географгиз, 1963. — 262 с.
- Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. — М.: Мысль, 1970. — 543 с.
- Докучаев В. В. Учение о зонах природы. — М.: Географгиз, 1948. — 64 с.
- Климат России / Отв. ред. Н. В. Кобышева. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001. — 655 с.
- Климатология / Под ред. О. А. Дроздова и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 568 с.
- Кузин П. С., Бабкин В. И. Географические закономерности гидрологического режима рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 200 с.
- Лебедев А. Н. Климат СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1958. — 367 с.
- Лурье П. М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. — СПб.: Гидрометеиздат, 2002. — 506 с.
- Львович М. И. Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1986. — 255 с.
- Макунина А. А. Ландшафты Урала. — М.: Изд-во МГУ, 1974. — 158 с.

- Марков К. К., Величко А. А., Лазуков Г. И., Николаев В. А. Плейстоцен. — М.: Высшая школа, 1968. — 303 с.
- Мещеряков Ю. А. Рельеф СССР. — М.: Мысль, 1972. — 519 с.
- Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР. — М.: Мысль, 1964. — 325 с.
- Мильков Ф. Н., Гвоздецкий Н. А. Физическая география СССР. — М.: Мысль, 1969. — 551 с.
- Оленев А. М. Урал и Новая Земля. — М.: Мысль, 1965. — 215 с.
- Пармузин Ю. П. Средняя Сибирь. — М.: Мысль, 1964. — 310 с.
- Пармузин Ю. П. Северо-Восток и Камчатка. — М.: Мысль, 1967. — 368 с.
- Пивоварова З. И. Радиационные характеристики климата СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 336 с.
- Плоскогорья и низменности Восточной Сибири / Отв. ред. Н. А. Флоренсов. — М.: Наука, 1971. — 320 с.
- Тушинский Г. К., Давыдова М. И. Физическая география СССР. — М.: Просвещение, 1976. — 544 с.
- Физико-географический атлас мира. — М.: ГУК, 1964. — 297 с.

Глава 3

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

3.1 ГИДРОСФЕРА ЗЕМЛИ

3.1.1. Основные понятия и определения

Наша планета обладает огромным количеством воды, которая находится в свободном состоянии, образуя океаны, моря, озера, реки, ледовый покров, почвенные и подземные воды; входит в состав атмосферы и биосферы, а также в состав минералов земной коры в химически и физически связанном состоянии.

Вся совокупность водных объектов и структур, содержащих воду, и представляющая собой непрерывную оболочку на Земле, носит название **гидросфера** (от греческих слов *Hydor* — вода и *sphaigra* — шар). Единство гидросферы определяется не только ее непрерывностью, но и постоянным водообменом между отдельными частями. В отличие от других естественных ресурсов вода постоянно перемещается во времени и пространстве, переходя из жидкой фазы в твердую или газообразную и обратно.

Процесс постоянного водообмена, или круговорота воды в системе атмосфера — гидросфера — литосфера, и называют **гидрологическим циклом**, который является одним из основных гидрофизических процессов на нашей планете, обеспечивающих относительную устойчивость природных условий и характеризующих постоянство распределения вод между океаном, сушей и атмосферой.

Гидросфере принадлежит основополагающая роль в геологической истории Земли, в формировании физической и химической среды, климата, в возникновении и развитии жизни на Земле.

Гидросфера — древнейшая оболочка нашей планеты, возраст которой составляет около 4 млрд лет. По современным геологическим данным, она существовала во все геологические времена. Процесс ее формирования за счет дегазации мантии Земли очень длительный и продолжается в настоящее время (Белоусов и др., 1972).

В гидросфере впервые зародилась жизнь на Земле. Эволюция организмов продолжалась в морской среде в течение всего докембрия, и лишь в начале палеозоя началось заселение суши различными организмами.

Гидросфера является единой водной оболочкой. В общем виде она может быть подразделена на три основные части.

Первая часть охватывает земную атмосферу от поверхности Земли и до высоты 300 км. Она состоит, главным образом, из пара, а также из капельно-жидкой влаги и кристаллов льда, а на больших высотах — из отдельных молекул и атомов водорода. В этой части гидросферы содержится наименьший объем влаги.

Вторая часть гидросферы — поверхностные воды Земли. Они расположены по вертикали от максимальных глубин океана — 11 км до максимальных высот высокогорных снегов — 9 км. Вода здесь находится, главным образом, в жидком состоянии, а также в твердом и биологическом (океаны и моря, реки и озера, водохранилища и болота, ледники, растительный и животный мир).

Третья часть гидросферы — самая большая по объему. Это подземные воды, которые могут находиться в парообразном, жидком, твердом и химически связанном состояниях. К ним относятся: почвенная влага, гравитационные воды верхних слоев земной коры, глубинные напорные воды,

воды в связанном состоянии в различных соотношениях, воды, входящие в состав минералов, и ювенильные воды.

Следует отметить, что приведенное определение границ и состава гидросферы носит слишком общий характер и является довольно неопределенным, особенно если необходимо для изучения гидрологического цикла оценить количественные характеристики гидросферы. Поэтому в научной литературе, даже самой современной, можно найти существенно различные определения гидросферы.

В конце XIX в., когда понятие «гидросфера» впервые появилось в научных публикациях, под ним понимали, в основном, воду океанов и морей; это определение иногда можно встретить и в современной литературе. В последующем к гидросфере стали относить воды суши — озера, реки, ледяной покров, но довольно продолжительное время наиболее дискуссионным было включение в состав гидросферы вод атмосферы и биосферы, а также различного вида подземных вод.

До настоящего времени многие специалисты по практической гидрологии и водному хозяйству под гидросферой понимают только воду на поверхности и в толще земной коры. Это вода океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, подземных вод), включая воду, аккумулярованную в твердой фазе (снежный покров, ледники) (Чеботарев, 1978). В этом весьма распространенном определении атмосферная влага не включается в состав гидросферы и не указывается конкретно, какая подземная вода (в освобожденном или связанном состоянии) относится к гидросфере.

С таким определением не согласны специалисты, занимающиеся проблемами водного баланса и гидрологического цикла, по мнению которых атмосферная влага — неотъемлемая составная часть гидросферы. Действительно, вода на земле существует в трех формах — жидкой, газообразной и твердой, и если твердая вода является составом гидросферы, то логично включать туда и газообразную воду, которая в основном находится в атмосфере, тем более, что в атмосфере имеются и капли воды, и частицы льда (Федосеев, 1975). В этом определении в гидросферу не включена вода в биосфере.

Среди ученых, занимающихся глобальными проблемами Земли, земной коры и гидрогеологии (Клиге и др., 1998), наиболее распространено очень широкое понятие гидросферы, под которой понимают не только воды атмосферы, поверхности суши, но и все виды подземной воды до глубины пример-

но 300 км, включая воду, находящуюся в связанном состоянии в различных горных породах и отложениях и входящую в химический состав минералов. Такое чрезмерно широкое понятие гидросферы, включающее в ее состав химически связанную воду, имеющую огромный объем, который практически не участвует в гидрологическом цикле и превышает объем воды в Мировом океане, представляется вряд ли обоснованным, особенно при изучении мирового водного баланса и определении количественных характеристик различных компонентов гидросферы.

В настоящее время среди ученых — гидрологов, климатологов, океанологов, занимающихся проблемами глобального климата, океана, водных ресурсов и водного баланса, используется довольно четкое и физически ясное определение **гидросферы, включающее в состав гидросферы все виды воды на нашей планете в жидкой, твердой и газообразной форме, которая находится в свободном состоянии и участвует в гидрологическом цикле.** Это воды атмосферы (до высоты 7 км), поверхности Земли, почвенного покрова и верхних слоев литосферы до глубины 2 км, которые перемещаются под действием тепловой энергии, гравитационных и капиллярных сил. Сюда же включается вода биосферы, прежде всего находящаяся в составе растительности и принимающая участие в гидрологическом цикле посредством транспирации.

Этого очень важного для анализа глобального гидрологического цикла понятия гидросферы придерживаются и авторы настоящей монографии.

Ниже дается краткая информация о составе вод гидросферы, которые принимают участие в гидрологическом цикле.

3.1.2. Запасы воды в гидросфере и периоды их возобновления

Являясь одним из наиболее распространенных веществ в природе, вода в составе гидросферы может находиться в трех состояниях: свободном жидком, твердом в виде льда или в газообразном в виде пара.

Надежно оценить запасы воды в гидросфере — непростая задача, поскольку вода очень динамична, находится в постоянном движении, переходя из жидкой фазы в твердую или газообразную и обратно. В разные периоды на Земле может изменяться и состав гидросферы. Помимо этого, при количе-

ственной оценке запасов воды, участвующей в гидрологическом цикле на Земле, необходимо установить границы гидросферы.

Исследования по количественной оценке компонентов гидросферы имеют очень большую историю, исчисляемую сотнями лет. Наиболее полный обзор этих исследований см.: в (Федосеев, 1967). За последние 30 лет наиболее полные оценки опубликованы в работах: Nace, 1967; Калинин, 1968; Мировой... 1974; Львович, 1974; Baumgartner, Reichel, 1975; National Council of Scientific Research, 1986; Berner E. K., Berner R. A., 1987. Сравнение этих данных, представленных в виде примера, показано в монографии (Gleick, ed., 1993). Как показывает анализ, приведенные в этих работах величины оценок весьма существенно различаются, что объясняется в значительной мере указанными выше причинами, а также свидетельствует, к сожалению, об ограниченности современных знаний даже в отношении глобальных характеристик гидросферы и требует проведения дополнительных исследований. Особенно велики различия в оценках запасов воды в ледовом покрове и подземных горизонтах в зоне вечной мерзлоты, что связано с большими трудностями их определения с использованием

(ввиду недостаточности исходных данных) косвенных методов.

Очень трудно объективно оценить надежность результатов по количественным показателям гидросферы, опубликованных различными авторами. Тем не менее большинство современных исследователей различных аспектов гидрологического цикла чаще всего используют данные, опубликованные российскими учеными еще в 1974 г. в хорошо известной капитальной монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли». В отличие от других, даже более поздних публикаций, в этой работе представлены наиболее полные (по сравнению с другими авторами) оценки значительно большего числа компонентов гидросферы с описанием использованных источников, исходных данных и методических подходов. Поэтому сведения, приведенные в табл. 3.1 по всем компонентам гидросферы, в основном базируются на данных именно этой монографии, за исключением компонентов, по уточнению которых в последующие годы были выполнены специальные комплексные исследования. В частности, это касается запасов льда и снега на Земле, которые приняты по данным «Атласа снежно-ледовых ре-

Таблица 3.1

Запасы воды в гидросфере Земли

Вид водных ресурсов	Площадь распределения, км ²	Объем, км ³	Доля мировых запасов, %	
			суммарных водных ресурсов	пресных водных ресурсов
Мировой океан	361 300 000	1 338 000 000	96,4	—
Подземные воды (гравитационные и капиллярные)	134 800 000	23 400 000	1,7	—
Преимущественно пресные подземные воды	133 800 000	10 530 000	0,76	28,6
Почвенная влага	133 000 000	40 000	0,003	0,11
Ледники и постоянный снежный покров:	16 227 500	25 779 011	1,86	70,1
Антарктика	13 964 764	23 296 600	1,68	63,4
Гренландия	1 802 400	2 365 000	0,17	6,43
Острова Северного Ледовитого океана	236 200	71 836	0,005	0,20
Горные регионы	272 850	40 544	0,003	0,11
Подземные воды в зоне вечной мерзлоты	21 000 000	300 000	0,022	0,82
Запасы воды в озерах:	2 058 700	176 400	0,013	—
пресные воды	1 236 400	91 000	0,007	0,25
солёные воды	822 300	85 400	0,006	—
Запасы воды в болотах	2 682 600	11 470	0,0008	0,03
Речные воды	148 800 000	2 120	0,0002	0,006
Водохранилища	365 000	6 370	0,0006	0,018
Биологические воды	510 000 000	1 120	0,0001	0,003
Вода в атмосфере	510 000 000	12 900	0,001	0,04
Суммарные запасы воды	510 000 000	1 387 723 021	100	—
Запасы пресных вод	148 800 000	36 769 620	2,65	100

курсов мира» (Институт Географии РАН), изданном в 1997 г.

Следует подчеркнуть, что приведенные данные по запасам воды довольно приблизительны из-за недостатка надежной информации по отдельным частям гидросферы. Наиболее надежны представленные оценки запасов воды в Мировом океане, в озерах и водохранилищах, во льдах Антарктиды и Гренландии, где в общем и сосредоточены основные запасы соленой и пресной воды.

Наименьшую достоверность имеют оценки подземных вод глубоких горизонтов, подземного льда в зонах вечной мерзлоты, запасы почвенной влаги, запасы воды в ледниках отдельных горных районов. Например, согласно данным, приведенным в работах (Gleick, ed., 1993; Shiklomanov, 2004), суммарные оценки запасов подземных вод, полученные различными авторами, различаются в 2–3 и более раз, запасы почвенной влаги — в 4–5 раз. По последним оценкам запасы воды в ледниках отдельных горных массивов и даже стран, приведенные в работах (Атлас..., 1997) и (Долгушин, 2000), могут различаться в 2–3 раза. На наш взгляд, в табл. 3.1 приведены наиболее полные и обоснованные данные.

В соответствии с данными таблицы, в гидросфере Земли находится огромное количество воды — примерно 1388 млн км³, из которых 96,4% составляют соленые воды Мирового океана. Большие запасы воды аккумулированы в литосфере (1,7% от общих запасов) в виде гравитационной и капиллярной вод, которые, как уже указывалось, определены до глубины 2000 м. Примерно 45% этого объема приходится на пресную воду, которая обычно находится на глубинах до 150–200 м; на больших глубинах располагаются в основном солоноватые и соленые воды.

Значительные запасы воды сосредоточены во льдах Антарктиды, Гренландии, островов Арктики и высокогорных районов. Общий объем воды в них составляет около 25,8 млн км³ или 1,86% всего объема гидросферы. При этом 90% этой воды находится в Антарктиде.

Следующим по объему аккумулятором воды являются подземные льды зоны вечной мерзлоты, которые занимают площадь 21 млн км², где по приближенным оценкам находится 300 тыс. км³ воды (0,022% объема гидросферы). Запасы воды в других компонентах гидросферы по объему очень незначительны, однако, как показано ниже, они играют очень большую роль в гидрологическом цикле благодаря своей динамичности.

Как следует из табл. 3.1, из всего огромного количества воды, сосредоточенной в гидросфере, 97,4% приходится на соленую воду и только 2,5% — на пресную воду. Из всего объема пресной воды, составляющего примерно 37 млн км³, на долю льда и постоянного снежного покрова в Антарктиде, Гренландии, в Арктике и в горных районах приходится 70,1%; еще 28,6% составляют пресные подземные воды, в значительной мере труднодоступные для использования; и только 0,28% всего объема пресных вод Земли, сосредоточенных в пресных озерах, водохранилищах и речных системах, наиболее доступны для использования человеком в процессе жизнедеятельности и имеют огромное значение для водных экосистем (рис. 3.1).

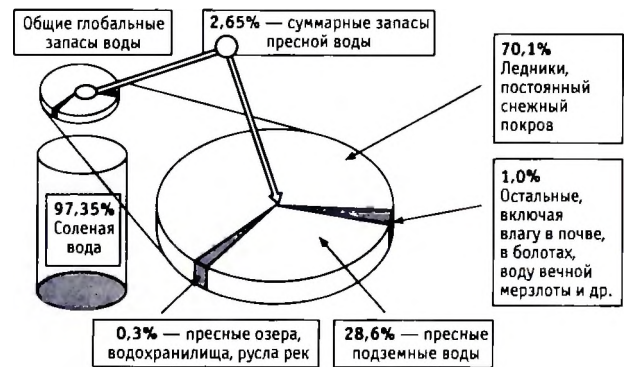


Рис. 3.1. Запас пресной воды в мире

Приведенные выше (в таблице) величины характеризуют так называемые естественные статические запасы воды гидросферы, т. е. то количество воды, которое одновременно в среднем за многолетний период находится в водных объектах поверхности суши, в почве, в подземных водоносных горизонтах, в биосфере и в атмосфере Земли. За более короткие промежутки времени (годы, сезоны, месяцы) величины запасов воды в гидросфере колеблются в процессе водообмена между океаном, суши и атмосферой, т. е. в процессе круговорота воды на Земле, или глобального гидрологического цикла (см. ниже, разд. 3.2). Роль отдельных компонентов гидросферы в круговороте воды на Земле зависит не только от их объема, но и от их динамичности в процессе круговорота, которая обычно количественно оценивается периодом полного возобновления. Это промежуток времени, в течение которого полностью меняются в процессе гидрологического цикла отдельные виды вод в гидросфере. Приближенные данные о периодах

полного возобновления основных видов гидросферы, полученные простейшим способом путем деления объема воды на годовой его расход, приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Периоды полного возобновления водных ресурсов на Земле

Виды вод	Период возобновления
Мировой океан	2500 лет
Подземные воды	1400 лет
Почвенная влага	1 год
Полярные льды и постоянный снежный покров	9700 лет
Горные ледники	1600 лет
Подземный лед зоны вечной мерзлоты	10 000 лет
Запасы воды в озерах	17 лет
Воды болот	5 лет
Вода в руслах рек	16 суток
Биологическая вода	Несколько часов
Атмосферная влага	8 суток

Продолжительность периода полного возобновления колеблется в очень больших пределах. Например, период полного возобновления океанических вод происходит примерно за 2500 лет, льдов вечной мерзлоты и полярных районов — за 10 000 лет, глубоких подземных вод и горных ледников — за 1500 лет. Запасы воды в озерах Земли полностью меняют свою воду примерно за 17 лет, в то время как период полного возобновления речных вод составляет всего 16 суток, а вод атмосферы — 8 суток. Быстрый период возобновления речных вод и обуславливает огромное значение речного стока как основного источника пресной воды для обеспечения хозяйственных нужд человека.

Исходя из характеристик водообмена в процессе гидрологического цикла, специалисты по гидрологии и водному хозяйству для оценки водных ресурсов того или иного региона обычно используют два понятия: статические, или вековые запасы пресной воды, и возобновляемые водные ресурсы. К *статическим*, или *вековым*, запасам условно относят те виды пресных вод, которые имеют период полного возобновления, исчисляемый многими годами или десятилетиями (крупные озера, подземные воды, ледники и др.). Их интенсивное использование неизбежно приводит к истощению запасов и неблагоприятным экологическим последствиям, нарушению веками установившегося рав-

новесия в природе, на восстановление которого могут потребоваться десятки и сотни лет.

К *возобновляемым* водным ресурсам относят те воды, которые ежегодно возобновляются в процессе круговорота воды на Земле. Это главным образом речной сток, оцениваемый в объемах, отнесенных к единице времени ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{км}^3/\text{год}$ и др.) и формирующийся в рассматриваемом регионе или приходящий извне; сюда включаются и подземные воды, поступающие в речную сеть. К этому виду ресурсов относятся и ежегодно возобновляемые подземные воды верхних водоносных горизонтов, которые не дренируются речными системами, а непосредственно впадают в море. Однако в глобальном масштабе объем их очень невелик по сравнению с объемом речного стока и может иметь существенное значение лишь для отдельных специфических регионов (например, прибрежных зон морей и океанов).

Следует подчеркнуть исключительную важность (особенно при планировании использования пресных вод) различий между статическими, или вековыми, запасами пресных вод и возобновляемыми водными ресурсами. К сожалению, иногда в литературе (даже специальной гидрометеорологической) смешивают эти чрезвычайно различные категории; нередко их суммируют или недостаточно строго различают. Между тем это совершенно недопустимо. Они принципиально различаются по своему значению в природе и требуют совершенно различного подхода к их использованию. В работе (Соколов, 1986) соотношение между статическими запасами воды и возобновляемыми водными ресурсами иллюстрируется на примере оз. Байкал. Озеро имеет огромные вековые запасы пресной воды — примерно $23\,000\ \text{км}^3$, в то время как возобновляемые водные ресурсы озера составляют всего $60\ \text{км}^3$ в год (сток р. Ангара, вытекающей из озера). Тем не менее возобновляемые водные ресурсы могут использоваться в хозяйственном отношении, а любое использование вековых запасов неизбежно приводит к неблагоприятным экологическим последствиям. Это обстоятельство не всегда учитывается, когда говорят о богатейших запасах пресной воды в крупных озерах.

Речной сток не только формирует основной объем возобновляемых водных ресурсов Земли, но и в процессе круговорота в значительной мере восстанавливает качество речных вод.

Таким образом, речной сток, практически представляющий собой возобновляемые водные ресур-

сы, является важнейшим компонентом гидрологического цикла, оказывающий огромное влияние на экологическое состояние земной поверхности и экономическое развитие человеческого общества. Именно речные системы имеют наиболее широкое распространение по территории, и их сток обеспечивает основной объем мирового водопотребления. Практически по величине речного стока оценивается водообеспеченность и дефицит водных ресурсов того или иного региона. Поэтому оценке речного стока, его динамике во времени и распределению по территории в глобальном масштабе, анализу использования его на различные хозяйственные нужды на современном этапе и в перспективе будет уделено основное внимание в следующих главах настоящей монографии.

3.2. ГЛОБАЛЬНЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

3.2.1. Общая схема

Глобальный гидрологический цикл, или процесс круговорота воды в природе, является одним из основных геофизических процессов на нашей планете, обеспечивающих относительную устойчивость природных условий и характеризующих постоянство распределения вод между океаном, сушей и атмосферой. В процесс гидрологического цикла вовлечены все виды вод гидросферы; благодаря этому все воды едины не только по происхождению, но и по их участию в круговороте. Глобальный гидрологический цикл — сложнейший природный процесс, включающий в себя многочисленные частные процессы: испарение, перенос влаги, конденсация влаги, выпадение осадков, инфильтрация, поверхностный и подземный сток и др.

Механизм гидрологического цикла на Земле действует постоянно, повсеместно и непрерывно. Движущими силами процессов, входящих в гидрологический цикл, являются тепловая энергия солнечной радиации и силы гравитации. Под влиянием тепла происходит испарение, конденсация водяных паров и другие процессы, входящие в гидрологический цикл, а под воздействием силы тяжести — выпадение атмосферных осадков, течение рек, движение подземных и почвенных вод и др.

Общая схема глобального гидрологического цикла с основными количественными показателями, полученными в работах (Мировой... 1974; Shiklomanov, Rodda, 2003), представлена на рис. 3.2.

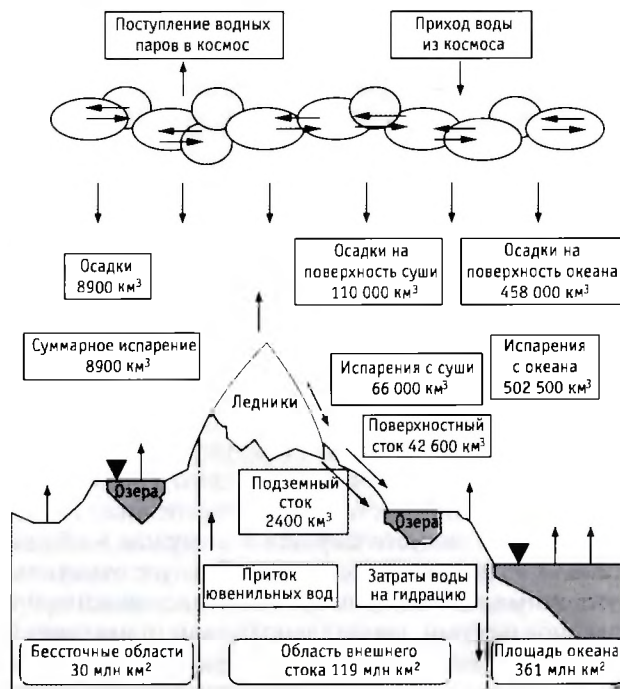


Рис. 3.2. Схема глобального гидрологического цикла

Следует отметить, что система глобального гидрологического цикла не является замкнутой. Определенное количество воды постоянно поступает в гидросферу Земли из космоса и из глубоко лежащих под землей ювенильных вод; с другой стороны, часть воды в виде пара уходит в космос, а часть затрачивается на химическое соединение с минералами в результате гидратации и выходит из влагооборота. Учитывая относительно небольшие объемы воды, участвующие в указанных процессах, которые не превышают 1 км³ в год (Алпатьев, 1969; 1983; Тимофеев и др., 1988; Клиге и др., 1998), обычно принимается, что они компенсируют друг друга и объем воды в гидросфере Земли условно принимается постоянным.

Началом круговорота воды является испарение с поверхности океана. Ежегодно с поверхности Мирового океана испаряется примерно 502,5 тыс. км³ воды; еще 75 тыс. км³ воды испаряется с территории суши, включая испарение с водных объектов суши (озера, реки, болота и т. д.). Испаряющаяся вода

поступает в атмосферу в виде водяного пара, где он путем турбулентной диффузии поднимается вверх и воздушными течениями переносится из одних мест в другие. При понижении температуры влажного воздуха водяной пар конденсируется, переходя в жидкое или твердое состояние, и выпадает в виде осадков.

Годовая сумма осадков, выпадающих на поверхность океана, составляет 458 тыс. км³, что существенно меньше объема испарения. В то же время в океане имеются обширные зоны, где осадки значительно превышают испарение. Избыток испаряющейся с океана влаги в объеме 44,5 тыс. км³ переносится воздушными течениями на континенты и острова, где вместе с влагой, испарившейся с суши, участвует в формировании речного стока, озер, ледников, подземных вод, создавая условия для развития биосферы и хозяйственной деятельности человека.

Такой же объем воды в течение года возвращается в океан в виде речного, ледового и подземного стока, не дренируемого реками, обеспечивая устойчивость его водного баланса и завершая в общем глобальный круговорот воды. Следует отметить, что суммарное количество влаги, переносимой с океанов на сушу, значительно больше приведенной выше величины (44,5 тыс. км³), поскольку большая часть ее проходит над сушей транзитом и снова поступает в океан.

Всего на поверхность суши выпадает примерно 119 тыс. км³ осадков, из которых 35% расходуется на речной и ледовый сток, остальная влага испаряется или идет на образование подземных вод, которые, в свою очередь, формируют подземный сток в океан.

Глобальный гидрологический цикл, основной закономерностью которого является водообмен между океаном и сушей, часто называют круговоротом воды в природе. На фоне большого круговорота существуют так называемые малые, или местные, круговороты воды: для океанов, континентов, подземных вод. Особенно четко проявляется круговорот воды для речных бассейнов и бессточных областей. Последние, занимающие площадь около 30 млн км², характеризуются отсутствием стока в Мировой океан; выпадающие здесь осадки целиком расходуются на испарение.

В глобальном гидрологическом цикле, движущими силами которого являются тепловая энергия и гравитация, происходят сложные процессы постоянного взаимодействия между океаном и атмо-

сферой, океаном и сушей, атмосферой и сушей, поверхностными и подземными водами, результатом которых являются закономерности распределения осадков и испарения над территориями океанов и суши, формирования и распределения речного стока и подземных вод на континентах, притока пресных вод в Мировой океан.

3.2.2. Основные факторы

Главным источником энергии, обуславливающим физические процессы, протекающие в гидросфере, является приходящая к Земле суммарная солнечная радиация (Q).

Значения суммарной солнечной радиации на суше изменяются от 60 ккал/см²/год на островах Северного Ледовитого океана до 200 и даже 220 ккал/см²/год в районах Африки, Азии и юга Северной Америки. В Европе величина суммарной солнечной радиации изменяется от 70 ккал/см²/год до 170 ккал/см²/год. В Австралии и Южной Америке наибольшие годовые значения суммарной солнечной радиации достигают 160–170 ккал/см²/год.

Для Атлантического и Тихого океанов величина солнечной радиации изменяется от 60–80 ккал/см²/год в их северной и южной частях до 160 ккал/см²/год в тропических зонах. Для тропической части Индийского океана суммарная солнечная радиация равна 160–170 ккал/см²/год, а в южной части океана — лишь 80 ккал/см²/год.

Не все тепло, достигающее поверхности Земли, поглощается ею. Каждый участок земной поверхности имеет свойство отражать часть солнечной радиации вследствие характерного для него коэффициента отражения — альбедо (α). Поэтому земной поверхностью поглощается лишь часть суммарной солнечной радиации (S):

$$S = Q(1 - \alpha). \quad (3.1)$$

Часть поглощенной солнечной радиации излучается в атмосферу. Разность между количествами излученного земной поверхностью тепла и противоизлучения атмосферы представляет собой эффективное излучение (I). Радиационный баланс (R) земной поверхности, то есть остаточная радиация, представляет собой разность тепловых потоков (S) и (I),

$$R = S - I. \quad (3.2)$$

Радиационный баланс (R) расходуется на процессы испарения (E) с поверхности океана и суши,

Таблица 3.3

Элементы теплового баланса поверхности Земли и атмосферы, ккал/см²/год

Широта, град.	Суша			Океан				Земля в целом				Атмосфера	
	<i>R</i>	<i>LE</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>LE</i>	<i>P</i>	<i>A</i>	<i>R</i>	<i>LE</i>	<i>P</i>	<i>A</i>	<i>R₀</i>	<i>LK</i>
70–60 с.	20	16	4	22	26	23	–27	21	19	10	–8	–77	34
60–50	30	23	7	40	47	19	–26	34	33	12	–11	–66	51
50–40	45	25	20	63	65	15	–17	54	44	18	–8	–66	51
40–30	60	23	37	90	96	15	–21	77	65	24	–12	–76	46
30–20	69	19	50	111	106	7	–2	95	73	23	–1	–90	39
20–10	71	32	39	123	117	7	–1	109	94	15	0	–91	70
10–0	72	57	15	126	106	7	13	114	95	9	10	–84	128
0–10 ю.	72	61	11	128	97	6	25	115	88	7	20	–81	101
10–20	73	45	28	123	113	9	1	111	98	13	0	–84	74
20–30	70	28	42	110	108	11	–9	101	90	18	–7	–81	61
30–40	62	29	33	93	86	11	–4	89	79	14	–4	–78	68
40–50	41	22	19	72	48	4	20	71	47	4	20	–70	77
50–60	31	22	9	45	34	9	2	45	34	9	2	–63	89
Земля	49	27	22	91	82	9	0	79	67	12	0	–79	67

Примечания. * R_0 — радиационный баланс атмосферы, LE — затраты тепла на испарение, LK — приход тепла от конденсации влаги в атмосфере.

турбулентный теплообмен (P) между поверхностью Земли и атмосферой, а также теплообмен между поверхностью суши (или водоема) с соответствующими нижележащими слоями (A). Для средних годовых условий на суше величина (A) равна нулю, а на океанах она соответствует количеству тепла, получаемого или теряемого поверхностью океанов в результате действия морских течений и макротурбулентного теплообмена.

Количественные данные о преобразовании солнечной энергии на Земле, осредненные по широтным зонам в виде составляющих теплового баланса, представлены в табл. 3.3 (Мировой... 1974).

Из приведенных в таблице данных следует, что около 90% тепла радиационного баланса расходуется на испарение с поверхности океанов и лишь 10% затрачивается на турбулентное нагревание атмосферы. Для суши в целом эти два элемента соответственно равны 55% и 45%, т. е. различаются в гораздо меньшей степени.

Для Земли в целом расход тепла на испарение составляет 85%, а на турбулентный теплообмен — 15%.

Преобразование солнечной радиации является главным источником энергии для всех физических процессов, протекающих в ходе гидрологического цикла.

В результате различного нагревания участков земной поверхности, а также вследствие приливных

сил Луны и Солнца и скорости вращения Земли, циркуляция атмосферы и состояние вод в гидросфере оказывают большое влияние на гидрологический цикл.

Океанические (морские) течения во многих случаях изменяют температуру воды поверхности океанов, что сказывается на величинах испарения с поверхности их акваторий, а следовательно, и на количестве атмосферных осадков.

В западных областях океанов умеренных широт, где действуют теплые течения, температура воды в холодное время года повышена, и испарение значительно возрастает по сравнению с окружающей территорией. В восточных областях океанов умеренных широт преобладают холодные течения. Здесь температура воды понижена, а испарение заметно меньше по сравнению с его средними широтными значениями.

Количество атмосферных осадков, выпадающих в районах теплых течений, значительно больше, чем в районах холодных течений. Это обстоятельство объясняется тем, что в первом случае преобладают восходящие движения воздуха, усиливающие процесс конденсации водяного пара.

На количество выпадающих осадков и испарения на континентах и океанах большое влияние оказывает атмосферная циркуляция. Испарение с поверхности акваторий океанов возрастает в тех районах, где повышены скорости ветра. К таким

районам относятся зоны пассатов, области муссонного климата и районы умеренных широт, в которых в холодное время года резко усиливаются западные ветры.

Таким образом, атмосферная циркуляция оказывает большое влияние на гидрологический цикл. В свою очередь, процессы испарения и конденсации оказывают влияние на атмосферную циркуляцию.

Выделение тепла в результате конденсации водяного пара в зоне экватора является важнейшим источником энергии для крупномасштабных атмосферных движений. Это тепло передается макротурбулентностью и атмосферной адвекцией в умеренные и полярные широты, повышая в них значение температуры воздуха.

Приход и расход тепла при конденсации водяного пара и испарении с земной поверхности определяют положение устойчивых барических образований — центров действия атмосферы.

В результате атмосферной циркуляции возникают воздушные потоки, которые переносят водяной пар на большие расстояния, создавая вертикальные движения крупного масштаба. Они приводят к подъему влаги в верхнюю часть тропосферы и к образованию осадков.

Физической основой общей циркуляции атмосферы является неравномерный нагрев земной поверхности вследствие неодинакового притока солнечной радиации на разных широтах, различия в альбедо подстилающей поверхности и в основном балансе районов океана и суши. Наиболее резкие отличия возникают между сушей и океаном, меняющиеся по сезонам и широтам, а также между покрытыми и не покрытыми льдом и снегом поверхностями.

Межширотные контрасты притока энергии на вращающуюся Землю определяют поле атмосферного давления и вызывают переносы воздушных масс, тепла и влаги. В процессе атмосферной циркуляции происходит конденсация водяного пара с выделением тепла, примерно в 5 раз превышающего турбулентное тепло от подстилающей поверхности в атмосферу. Процессы атмосферной циркуляции обладают значительной неустойчивостью. Переносы тепла и влаги вдоль широт сменяются меридиональными выносами. В связи с этим процессы циркуляции и выпадение осадков особенно сильно изменяются во времени и пространстве, создавая в малых масштабах времени изменения погодных условий, а в больших — чередование многолетних и маловодных периодов (Мировой... 1974).

3.2.3. Процессы водообмена

3.2.3.1. Водообмен между океаном и атмосферой; испарение с водной поверхности и осадки

Важнейшими и наибольшими по объему компонентами глобального гидрологического цикла, которые характеризуют водообмен между океаном и атмосферой, являются испарение с поверхности Мирового океана и осадки, выпадающие над океаном. Принято считать, что процессы водообмена над океаном представляют собой так называемый Малый гидрологический цикл в отличие от Большого гидрологического цикла, который включает в себя целый комплекс процессов: испарение с земной поверхности, перенос влаги, конденсацию, выпадение осадков, просачивание в почво-грунты, формирование речного стока и питание водоносных горизонтов, приток воды в моря и океаны. Тем не менее в Малом глобальном гидрологическом цикле участвует значительно больше воды, чем в Большом.

Годовой слой испарения с поверхности Мирового океана составляет в среднем 1400 мм, что значительно превышает слой испарения с суши (500 мм). Это объясняется неограниченными запасами морской воды, повышенным радиационным балансом водной поверхности по сравнению с сушей, и возможностью дополнительных затрат на испарение тепла, аккумулированного в водной массе.

Величины годового испарения с поверхности океанов изменяются по территории в очень больших пределах: от 50–70 до 3000–3200 мм.

В соответствии с широтным распределением суммарной солнечной радиации на Земном шаре годовые суммы испарения с поверхности Мирового океана в общем зонально убывают от низких широт к высоким (рис. 3.3). Однако под влиянием атмосферной циркуляции и океанических течений широтное распределение испарения существенно нарушается. Наибольшими величинами испарения с океана характеризуются в обоих полушариях субтропические зоны в пределах 10–20° с. ш. и 10–20° ю. ш., что обусловлено усилением скоростей ветра в районах пассатов и сухостью воздушных масс при антициклоническом режиме погоды. Годовая сумма испарения в этих зонах океана составляет в среднем около 2000 мм.

В приэкваториальных районах, несмотря на наиболее высокие температуры воздуха, преобладают

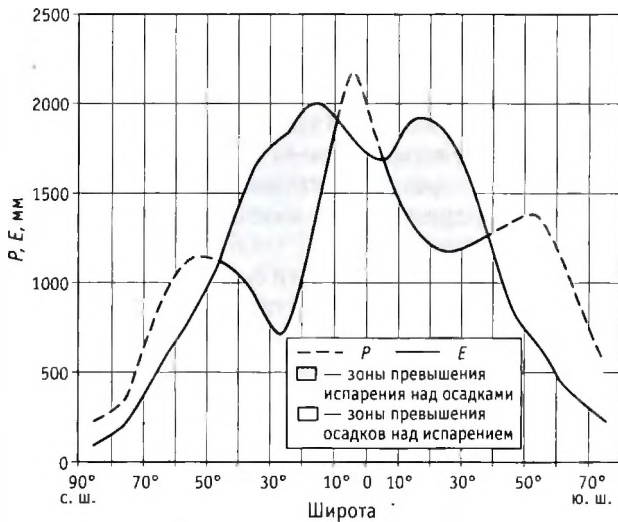


Рис. 3.3. Распределение осадков и испарения на Земном шаре

воздушные массы со слабыми скоростями ветра и высоким влагосодержанием, поэтому испарение здесь несколько снижается и составляет в среднем 1700–1800 мм.

В субтропиках и приэкваториальных широтах, в районах с теплыми течениями (Гольфстрим, Куро-Сиво) испарение значительно увеличивается (до 3200 мм в Атлантическом океане). В районах с холодными течениями (Перуанское, Бенгальское) испарение уменьшается до 1200 мм и меньших значений.

В умеренных широтах Северного полушария годовые суммы испарения с океанов изменяются от 2000 мм в районах теплых и до 400 мм в районах холодных течений. В Южном полушарии на тех же широтах испарение изменяется от 400 до 1000 мм, а в районах океанов, где в отдельные месяцы водная поверхность покрывается льдом, величина годового испарения близка к 200 мм. Наименьшими величинами испарения (75–100 мм) характеризуется центральная часть Северного Ледовитого океана.

Испарение огромного количества воды с поверхности Мирового океана обуславливает повышенное содержание влаги в атмосфере над океаном; общее ее количество в слое 0–7 км оценивается в среднем в 9800 км³. В атмосфере над сушей эта величина составляет только 3100 км³.

Атмосферная влага находится в постоянном движении и переносится воздушными течениями на большие расстояния. При понижении температуры водяной пар в атмосфере конденсируется и выпа-

дает в виде осадков; при этом большая часть этих осадков образуется из влаги, испарившейся с поверхности океана.

Средний слой осадков на поверхность Мирового океана составляет 1270 мм.

Максимум осадков над Мировым океаном находится в экваториальной зоне в полосе 10–0° с. ш. (в среднем около 2200 мм в год) (см. рис. 3.3). Наибольшее количество осадков (более 4000 мм в год) выпадает в Индийском океане у берегов Индонезии и Бирмы. Наименьшее количество осадков в низких широтах наблюдается в тропических пассатных зонах Северного и Южного полушария в пределах 20–30° с. ш. (700 мм) и 20–30° ю. ш. (1160 мм). Минимум осадков (менее 50 мм в год) выпадает в восточных частях океанов, прилегающих к пустыням (Сахара, пустыни Аравийского полуострова). Две области некоторого увеличения осадков имеют место в умеренных широтах Северного (40–60° — 1100 мм) и Южного (50–60° — 1350) полушарий.

Количество осадков над океанами в основном связано с особенностями циркуляции атмосферы (пассаты и муссоны) и распределением теплых и холодных морских течений. По мере продвижения пассатов над океаном воздушные массы обогащаются влагой. Поэтому максимум осадков выпадает в западных частях океанов, а также на восточных берегах материков и прилегающих островах.

Благодаря влиянию муссонов, приносящих влагу с океанов, в экваториальной зоне Индии, Бангладеш, Камеруна, Колумбии и на Гавайских островах выпадают наиболее значительные осадки.

В умеренных широтах максимумы осадков объяснены своим происхождением циклонам, возникающим на океанах.

Исходя из представленных выше данных по распределению по территории Мирового океана величин испарения и осадков, очевидно, что в одних частях Мирового океана имеются зоны превышения испарения над осадками, а в других, наоборот, преобладание осадков над испарением (Мировой... 1974; Догановский, Малинин, 2004). Как следует из рис. 3.3, в среднем в субтропических и тропических широтах обоих полушарий в пределах с 40° по 10° с. ш. и с 10° по 40° ю. ш. испарение существенно превышает осадки, при этом особенно значительно в северном полушарии (от 300 до 1300 мм). В приэкваториальной зоне северного полушария в пределах 10°–0° с. ш., а также в умеренных и высоких широтах обоих полушарий осадки в среднем значительно больше, чем испарение; при этом особен-

но большая разница между осадками и испарением в южном полушарии.

Приведенные на рис. 3.3 данные представляют собой величины, осредненные за многолетний период по широтным зонам. Для отдельных обширных частей Мирового океана различия между величинами испарения и осадков могут достигать 1500–2000 мм и более. Например, в тропической зоне Атлантического океана в северном полушарии между Азорскими островами и Мексиканским заливом годовой слой испарения превышает осадки примерно на 1600 мм, т. е. уровень воды здесь ежегодно понижался бы на 1,6 м, если бы не было притока воды из других районов. Точно так же в тропической зоне Южного полушария в Атлантическом океане, а также в Индийском океане между Мадагаскаром и Австралией ежегодное понижение уровня за счет испарения составляло бы 1,2 м. На такую же величину понижался бы ежегодно уровень в Центральной части Тихого океана и на 0,8 м — в южной его части у берегов Южной Америки.

В других частях Мирового океана осадки значительно превышают испарение и при отсутствии оттока воды в другие районы уровень водной поверхности постоянно повышался бы. Наиболее значительное ежегодное повышение уровня за счет превышения осадков над испарением происходило бы в Тихом океане в районах Индонезии и Филиппин — на 2,0–2,4 м. В Индийском и Атлантическом океанах к югу от южной оконечности Африки ежегодное приращение уровня составляло бы от 1,2 до 2,0 м. В экваториальной зоне Индийского и Тихого океанов повышение уровня за счет осадков составляло бы 0,8 м, а в Атлантическом — 1,2 м; у побережья Малайзии уровень поднимался бы на 1,6 м.

Наличие в Мировом океане зон с различными соотношениями между осадками и испарением является важнейшим фактором образования постоянных океанических течений, которые выравнивают уровни морей и океанов и играют огромную роль в формировании атмосферной циркуляции и климата на нашей планете, что, в свою очередь, оказывает большое влияние на все компоненты глобального гидрологического цикла. По имеющимся приближенным оценкам количество воды, ежегодно переносимой течениями в океанах, составляет примерно 22 млн км³ (Дроздов и др., 1989), что примерно в 500 раз превышает суммарный годовой сток всех рек мира.

3.2.3.2. Водообмен между сушей и атмосферой; испарение с суши и осадки

Важным звеном глобального гидрологического цикла является водообмен между сушей и атмосферой, который происходит главным образом посредством испарения с суши и осадков, выпадающих на ее поверхность.

Испарение с поверхности суши зависит не только от метеорологических условий, но и от состояния ее увлажнения. В случае насыщенного водой состояния поверхности почвенного покрова, испарение с нее при одной и той же температуре и скорости ветра практически не отличается от испарения с водной поверхности. Если поверхность почвы не насыщена водой, интенсивность испарения лимитируется поступлением влаги из нижележащих слоев почво-грунтов. Естественно, что при очень малом количестве влаги в почво-грунтах испарение с почвы стремится к нулю.

Для изучения водного баланса речных бассейнов, крупных регионов, континентов и, тем более, глобального гидрологического цикла прежде всего необходимы данные о суммарном испарении или эвапотранспирации с рассматриваемой территории суши, под которой понимают суммарные потери влаги вследствие транспирации и испарения с поверхности почвы, болот, воды, снега, льда и растительного покрова.

В настоящее время разработано много методов расчета суммарного испарения. Для анализа характеристик водного баланса больших речных бассейнов, природно-экономических регионов и континентов в ГГИ и в ГГО испарение с суши рассчитывалось, главным образом, с использованием так называемого комплексного метода академика М. И. Будыко, уточненного Л. И. Зубенок (Будыко, 1947; Зубенок, 1976).

Полученное по этому методу распределение суммарного испарения с суши по широтным зонам континентов (с островами) представлено в табл. 3.4.

Наибольшие величины испарения имеют место в приэкваториальных зонах всех континентов, которые характеризуются наибольшим количеством тепла и влаги; здесь средние величины испарения составляют 900–1100 мм в год, а максимальные достигают 1250 мм. Южнее и севернее экваториальных широт испарение уменьшается. На широтах 40–60° Северного полушария оно составляет 300–500 мм и примерно столько же на широтах 30–50° Южного полушария. Отклонения величин испаре-

ния от зонального распределения наблюдается в горных системах, где из-за уменьшения радиационного баланса испарение уменьшается с градиентом примерно 10–20 мм на 100 м высоты.

Наименьшими величинами суммарного испарения с суши (100–200 мм и меньше) характеризуются северные арктические острова и пустынные районы Африки и Юго-Западной Азии: первые из-за недостатка тепла, а вторые из-за недостатка влаги. В среднем для континентов наибольшая величина годового испарения характерна для Южной Америки — 850 мм, для всех остальных континентов она различается незначительно — от 420 до 540 мм; в среднем годовое испарение с суши нашей планеты составляет 470 мм.

Влага, испарившаяся с поверхности суши в результате турбулентной диффузии, поднимается вверх, перемешивается с влагой, поступившей с океана и переносится воздушными потоками на большие расстояния. При понижении температуры водяной пар конденсируется и выпадает в виде осадков.

Осадки, выпадающие на любую территорию суши (P), могут быть условно разделены на два вида: осадки, образованные испарением с рассматриваемой территории (P_M) и осадки, образованные за счет водяного пара, принесенного извне (P_B), главным образом с океана.

$$P = P_M + P_B \quad (3.3)$$

Указанные соотношения количественно оцениваются коэффициентом влагооборота (K_B), под которым понимается отношение общего количества осадков, выпадающих на данную территорию, к осадкам, образованным за счет внешнего водяного пара.

$$K_B = \frac{P_M + P_B}{P_B} \quad (3.4)$$

Таким образом, коэффициент влагооборота (K_B) всегда равен или больше единицы и значение его увеличивается при увеличении площади рассматриваемой территории. Как показывают исследования, вследствие значительных масштабов переноса океанической влаги непосредственное участие местного испарения в формировании осадков на площадях, размеры которых менее 1 млн км², очень невелико; коэффициенты влагооборота для таких территорий, как правило, не превышают значений 1,04–1,06. Для огромных территорий масштаба континентов величины коэффициентов влагооборота могут достигать значений 1,4–1,7 (см. ниже, в табл. 3.5). Таким образом, главным источником увлажнения крупных регионов и речных бассейнов, а также большинства континентов, является океаническая влага, которая формирует основную часть осадков.

Наиболее надежные величины среднемноголетних величин годовых осадков (с учетом поправок на ветровую недоучет, на смачивание осадкомера и испарение) для всей территории суши определены в России в ГГО и ГГИ (Мировой... 1974).

По этим данным распределение осадков по широтным зонам континентов (в сравнении с испарением) представлено в табл. 3.4.

Наибольшие величины осадков на всех континентах имеют место в экваториальных широтах, в зоне от 0 до 10° северной и южной широты, где они в среднем достигают 2700–3000 мм; меньше всего осадков выпадает в Африке (пустыня Сахара) на широтах от 20 до 40° северной широты (40–200 мм), в Австралии (Австралийские пустыни) в зоне 20–30° южной широты (320 мм), в Азии (пес-

Таблица 3.4

Распределение средних величин испарения и осадков по широтным зонам континентов (с островами)

Широта	СЕВЕРНАЯ							ЮЖНАЯ						
	80–70	70–60	60–50	50–40	40–30	30–20	20–10	10–0	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Европа	100	350	490	560	470									
	554	840	736	875	715									
Азия	160	260	350	260	320	470	660	1160	1170					
	398	518	571	370	537	995	1350	2650	2590					
Африка					200	30	400	840	930	700	420	400		
					220	40	550	1380	1320	1070	570	509		
Северная Америка	90	220	360	510	610	530	950	1040						
	267	524	863	886	844	742	1710	2730						
Южная Америка							720	1050	1020	840	740	560	260	360
							1080	2340	2010	1340	1020	830	1270	1890
Австралия и Океания									1200	590	310	440	620	
									3050	741	323	555	1670	

Примечание. В числителе — испарение, в знаменателе — осадки.

тынные и полупустынные районы Китая, Монголии и Средней Азии) на широтах 40–50° с. ш. (370 мм), а также в Северной Америке (острова Канадского Арктического Архипелага и Гренландия) в зоне 80–70° с. ш. (270 мм).

Приведенные величины характеризуют средние значения годовых осадков по широтным зонам; в различных регионах Земли годовые суммы осадков изменяются в исключительно больших пределах: от 0–10 мм (Центральные районы пустыни Сахары) до 10 000–11 000 мм (южные склоны Гималаев) (Дроздов и др., 1989). Неравномерность территориального распределения годового слоя осадков характерна для каждого континента. В пределах каждого континента можно найти различные по площади регионы с очень низкими и очень высокими величинами осадков. При этом в горных районах, как правило, осадков выпадает значительно больше, чем на окружающих равнинных территориях.

Изученность осадков для Антарктиды наиболее слабая по сравнению с другими континентами. Распределение осадков по территории Антарктиды является зональным: увлажнение убывает от побережий к центру континента. Максимальный годовой слой осадков на побережье составляет 600–700 мм, минимальный — в центральной части континента, 30–50 мм. В среднем на континенте выпадает за год 175–180 мм осадков.

3.2.3.3. Водообмен между сушей и океаном; речной сток

Водообмен между сушей и океаном является заключительным элементом большого круговорота воды или глобального гидрологического цикла. Со-

гласно данным, приведенным на рис. 3.2, осадки, выпадающие на сушу и обусловленные в значительной мере океанической влагой, расходуются не только на испарение, но и на формирование речного стока и подземных вод, большая или меньшая часть которых возвращается в океан. Речной сток является не только важнейшим компонентом глобального гидрологического цикла, но и играет огромную роль в жизнедеятельности человека, обеспечивая основной объем потребления пресной воды на его хозяйственные нужды. Поэтому изучение формирования речного стока, закономерности распределения по территории и во времени имеет очень большое не только научное, но и практическое значение.

В результате испарения в атмосфере над океаном находится большое количество влаги (примерно 9800 км³). Основным источником наполнения влаги в атмосфере являются перечисленные выше, в разд. 3.2.3.1, зоны превышения испарения над осадками в Мировом океане. Влага в атмосфере находится в постоянном движении и переносится воздушными течениями на большие расстояния.

Наибольшее значение в переносе влаги с океанов на сушу имеют атлантические области повышенного испарения. Отсутствие высоких гор на побережьях Атлантики способствует глубокому проникновению влаги на континенты. За счет переноса влаги с Атлантики увлажняется вся Европа, значительная часть Азии, Северной Азии, Северной Америки. Центральная и Южная Америка (бассейн р. Амазонки) и обширная часть Африки.

Тихоокеанская влага, в отличие от атлантической, проникает на континенты не так глубоко, так как побережья океана окаймлены высокими горными хребтами (Кордильеры в Северной Америке,

Таблица 3.5

Баланс влаги на континентах

Континент	Площадь без островов	Осадки	Годовой перенос влаги	Адвективные осадки	Осадки за счет испарения с континента	Транзит влаги	Вынос влаги обусловлен испарением с континента	Общий вынос влаги с континента	Коэффициент влагооборота
	тыс. км ²								
Европа	9800	7540	10 100	5310	2230	4800	2500	7300	1,42
Азия	40 775	25 700	20 100	15 860	9840	4200	5300	9500	1,62
Африка	29 530	21 400	24 600	15 080	6330	9500	9200	18 700	1,42
Северная Америка	20 060	16 200	12 300	9790	6360	2500	2800	5300	1,65
Южная Америка	17 800	28 400	20 700	16 900	11 500	3800	3700	7500	1,68
Австралия	7615	3470	12 800	3040	430	9700	2560	12 260	1,14
Всего	125 580	102 710	100 600	66 000	36 690	34 500	26 100	60 560	

Анды в Южной Америке, горные хребты в Восточной Азии). Аналогично влага, переносимая с Индийского океана, не может преодолеть высокие горные хребты Южной Азии (Гималаи) и Восточной Африки.

В табл. 3.5 (Мировой... 1974) представлены приближенные данные по балансу влаги на континентах.

Суммарное количество переносимой с океанов на сушу влаги составляет $100\,600\text{ км}^3$ в год. Примерно $34\,500\text{ км}^3$ ее или 34% проходит над сушей транзитом и снова поступает на океан. Количество транзитной влаги неодинаково над разными континентами и определяется их размерами, рельефом и удаленностью от источника поступления влаги.

Как следует из табл. 3.5, сумма адвективных осадков на континентах составляет $66\,000\text{ км}^3$ в год; однако в этот объем входит не только океаническая влага, но и влага, образующаяся над сушей и переносимая с одних материков на другие.

Океан не только поставляет влагу на сушу, но и получает ее с суши в виде речного и подземного стока, а также в результате выноса атмосферной влаги, образованной за счет испарения с суши. Объем последней по данным таблицы оценивается суммарно в $26\,100\text{ км}^3$ в год (без учета островов), при этом примерно треть ($9\,200\text{ км}^3$) приходится на долю Африки.

Значительно более важным компонентом водообмена между океаном и сушей является приток в океаны речных вод. Несмотря на сравнительно малую величину в общем объеме воды Мирового океана, приток пресных вод играет весьма существенную роль в водном балансе и водообмене между его частями, а особенно в физических процессах, которые происходят в морях и океанах.

Пресные речные воды, поступая в моря и океаны, являются причиной возникновения в прибрежных районах стоковых течений, изменяющихся в зависимости от сезонных и годовых колебаний стока рек. Речные воды, значительно отличающиеся по своим физико-химическим свойствам от морских соленых вод, смешиваясь с последними, влияют на общую схему движения океанических водных масс. Даже относительно небольшой объем речных вод приводит к образованию в поверхностном слое более легких распресненных вод, распространяющихся по поверхности океана на большие расстояния и существенно изменяющих физико-химические и динамические процессы в морях и океанах.

Большая часть пресных вод, поступающих в океан, выносится крупнейшими речными системами,

которые собирают воду с огромной территории их водосборных бассейнов. В течение многих десятилетий на многих реках Земного шара существует гидрологическая сеть, состоящая из гидрологических станций, регулярно измеряющих уровни и расходы воды в реках. Данные наблюдений мировой гидрологической сети и используются в современных оценках суммарных величин речного стока регионов, стран и континентов и притока пресных вод в моря и океаны.

Наиболее детальная оценка глобальных величин речного стока выполнена в последние годы в ГГИ (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003). Для этого использовались данные наблюдений более чем на 2500 гидрологических станций, в том числе все имеющиеся данные на крупных речных системах мира. Сток территорий, не освещенных наблюдениями, учитывался с использованием различных расчетных методов, широко применяемых в гидрологии (более детально по этому вопросу см. гл. 12, в частности разд. 12.5).

Глобальные характеристики речного стока и притока в океаны (по данным ГГИ) приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Среднегодовой сток рек и приток речных вод в Мировой океан по континентам

Континент	Площадь, $\text{км}^2 \cdot 10^6$		Суммарный сток рек, $\text{км}^3/\text{год}$	Приток в океаны, $\text{км}^3/\text{год}$
	общая	бессточные области		
Европа	10,46	2,16	2900	2544
Северная Америка	24,3	0,88	7870	7560
Африка	30,1	9,6	4047	3520
Азия	43,5	12,3	13510	11860
Южная Америка	17,9	1,41	12030	11750
Австралия и Океания	8,95	3,92	2400	2300
Всего (округленно)	135	30,3	42760	39530

Как следует из таблицы, не весь речной сток, сформировавшийся на территории суши, поступает в океаны. Это обусловлено двумя причинами. *Во-первых*, значительная часть речных водосборов относится к так называемым областям внутреннего стока или бессточным областям, которые не имеют связи с Мировым океаном. Общая площадь бессточных областей составляет примерно 30 млн км^2 (20% всей суши). Крупнейшие бессточные области — бассейн Каспийского моря, большая часть Средней и Центральной Азии, Аравийского полуострова, Северной Африки, Австралии. *Во-вторых*, в областях внешнего стока, непосредственно связанных с Мировым океаном, максимальные вели-

чины среднего годового стока речных бассейнов далеко не всегда совпадают с объемом стока в устье реки при впадении в моря и океаны. Для многих бассейнов, где сток формируется в горных областях, по мере продвижения к устью значительная часть его может теряться на непосредственное испарение и на хозяйственные нужды в равнинных и низменных частях бассейна с жарким, сухим климатом.

Согласно данным таблицы, суммарная величина притока речных вод в океан оценивается в среднем $39\,500\text{ км}^3$ в год; при этом наибольший приток имеет место с Южно-Американского и Азиатского континентов (примерно по $11\,800\text{ км}^3$ в год), наименьший — с Австралии с Океанией (2300 км^3 в год) и с Европы (2500 км^3 в год).

Наибольший приток в океаны, как уже указывалось выше, поступает со стоком крупнейшей рек мира. Например, величайшая река мира — Амазонка, дает 17% всего притока речных вод в Мировой океан, а сток пяти крупнейших рек мира (Амазонка, Ганг с Брахмапутрой, Конго, Янцзы и Ориноко) составляет 29% всего притока.

По территории суши величины речного стока распределены крайне неравномерно, что можно показать путем сравнения величин стока, выраженных в относительных единицах, обычно в миллиметрах слоя, полученных путем деления объема стока на площадь территории, где он формируется.

На каждом континенте имеются регионы с очень малыми величинами слоя среднегодового стока (10–20 мм) — это сухие, жаркие, пустынные и полупустынные районы, и регионы, где слой стока составляет 3000–5000 мм — обычно это прибрежные, горные районы с очень большим количеством годовых осадков.

Следует отметить, что с суши в океаны вода поступает не только в виде речного стока, но и в виде притока подземных вод, которые не дренируются речными системами. По приближенной оценке этот объем составляет 2400 км^3 в год, из которых больше всего (750 км^3) приходится на Азию (Зекцер, 2001).

С территории Антарктиды пресная вода в океаны поступает, главным образом, в виде отколотых айсбергов, а также, в меньшей степени, в виде подледного и поверхностного стока; в сумме приток с Антарктического континента по современной оценке составляет в среднем 2300 км^3 в год (Короткевич, Котляков, 1974). Таким образом, общий приток с территории суши в Мировой океан (речной сток, подземный сток и ледовый сток с Антарктиды) составляет приблизительно $44\,200\text{ км}^3$ в год.

Приведенные выше количественные характеристики процессов водообмена между океаном и суши, да и другими компонентами глобального гидрологического цикла, определены в среднем за многолетний период в условиях стационарной климатической ситуации на нашей планете. Таким образом, предполагается, что такие интегральные показатели глобального водообмена, как уровень и объем Мирового океана, не испытывают за рассматриваемый многолетний период каких-то направленных изменений, т. е. могут быть приняты постоянными.

Между тем данные за последнее столетие показывают, что уровень мирового океана имеет четко выраженную тенденцию роста, о чем свидетельствует график, заимствованный из (Малинин, 2008) и представленный на рис. 3.4. График получен автором на основании детального анализа данных многолетних наблюдений, в том числе с использованием спутникового зондирования. В соответствии с представленными данными, за период XX столетия величина тренда роста уровня Мирового океана составила $1,8\text{ мм/год}$, за период с 1923 г. — $2,0\text{ мм/год}$. Автор объясняет рост уровня главным образом уменьшением эффективного испарения и увеличением твердого и жидкого стока с Антарктиды и Гренландии, а также изменением плотности морской воды за счет повышения глобальной температуры воздуха. По оценкам (Клиге и др., 1998), запасы воды в океане ежегодно возрастают примерно на 600 км^3 , в основном за счет уменьшения запасов воды на суше.



Рис. 3.4. Межгодовой ход уровня Мирового океана

До настоящего времени величины изменений составляющих Глобального гидрологического цикла не столь значительны и практически не выходят за пределы их естественных колебаний за исторический период, однако, в соответствии с имеющи-

мися прогнозными оценками, в ближайшие 50–100 лет можно ожидать очень серьезных изменений всех компонентов гидрологического цикла, как в региональном, так и в глобальном аспектах, что может привести к целому комплексу острых негативных природно-экономических и социальных проблем во многих регионах мира (см. ниже, разд. 3.2.4). Для решения всех этих проблем требуется проведение широкого комплекса научных исследований.

3.2.3.4. Взаимодействие поверхностных и подземных вод

Взаимодействие поверхностных и подземных вод является одним из важных процессов водообмена на нашей планете, который имеет место повсюду, на всех континентах и во всех океанах, и существовал всегда, в течение всей истории гидросферы.

Различные виды взаимодействия между поверхностными и подземными водами довольно хорошо изучены и представлены двумя главными процессами. С одной стороны, это фильтрация поверхностных вод из рек, озер, других водных объектов в почво-грунты, что в значительной степени способствует пополнению запасов подземных вод; с другой стороны, это наоборот фильтрация подземных вод в реки, озера, другие водные объекты, формирующая так называемый подземный компонент речного стока и водного баланса поверхностных водных объектов. Характер взаимодействия определяется, главным образом, соотношением уровней воды поверхностных и подземных вод, их естественными изменениями во времени, структурой и проницаемостью почво-грунтов. Климатические условия территории также очень важны, обуславливая режим уровня в поверхностных водных объектах, удельные объемы наполнения или расходования подземных вод, влияние испарения и транспирации на формирование баланса поверхностных и подземных вод и т. п.

Особые условия взаимодействия поверхностных и подземных вод имеют место при постоянной гидравлической связи между подземными водными горизонтами и реками (водохранилищами); в этом случае могут иметь место оба вида взаимодействия. При низких уровнях воды в реках или водохранилищах в них поступают подземные воды из верхних водоносных горизонтов. В период высокой воды, когда уровень воды в реках или водохранилищах резко повышается, происходит обратное движение, т. е. вода из поверхностных водных объектов

через берега поступает в подземные горизонты. На больших равнинных реках со значительной амплитудой колебаний уровней ширина зоны гидравлической связи поверхностных и подземных вод может достигать 15–20 км и более.

Условия и конкретные виды взаимодействия поверхностных и подземных вод в значительной степени различаются для равнинных территорий в зонах достаточного и избыточного увлажнения и в зонах с аридным и семиаридным климатом, для горных и предгорных районов. Специфическими условиями формирования подземных вод и их взаимодействия с поверхностными водами характеризуются карстовые районы, сложенные легко размываемыми горными породами, и зоны вечной мерзлоты, представленные массивами вечномерзлых пород толщиной 200–300 м и более. В карстовых районах наблюдается наибольшая интенсивность водообмена поверхностных и подземных вод; в районах вечной мерзлоты, занимающих огромные площади на севере Азии и Северной Америки, наоборот, водообмен довольно ограничен.

Сток подземных вод в реки является важнейшим компонентом водного баланса речных бассейнов и их водных ресурсов. Показателем участия подземных вод в формировании речного стока является коэффициент подземного питания реки, который выражается соотношением подземного стока, поступающего в реку, и общей величины ее стока (в процентах); этот коэффициент, по существу, является количественным показателем взаимодействия речных и подземных вод.

В принципе значения коэффициента подземного питания рек могут изменяться от нуля (участки практически водонепроницаемых горных пород) до 100% (карстовые участки, которые полностью поглощают осадки). Однако эти крайние показатели характерны для очень небольших площадей, и в большинстве регионов мира коэффициент подземного питания рек изменяется в пределах от 5–10% до 50–60%, в среднем для всех рек Земли он составляет примерно 35%.

Наименьшими величинами (<10%) характеризуются районы вечной мерзлоты и районы недостаточного увлажнения со слабо развитой гидрологической сетью и глубоким залеганием подземных вод.

Горные районы характеризуются обычно большими значениями коэффициента питания подземных вод, чем окружающие их равнины и низменности. Для большинства горных рек величины

Приток подземных вод с континентов в Мировой океан

Континент	Приток речных вод в океан, км ³ /год	Коэффициент подземного питания рек, %	Приток подземных вод с речным стоком, км ³ /год	Приток подземных вод в океан, не дренируемых реками, км ³ /год	Суммарный приток подземных вод в океан, км ³ /год
Европа	2544	35	890	187	1077
Северная Америка	7560	29	2192	408	2600
Африка	3520	35	1232	284	1516
Азия	11860	26	3084	750	3834
Южная Америка	11750	35	4112	390	4502
Австралия и Океания	2300	24	552	381	933
Итого (округленно)	39530	30	12060	2400	14460

коэффициента составляют 40–60%, однако при этом имеет место очень значительный разброс экстремальных значений (например, для рек Кавказа значения коэффициента изменяются от 2–5% до 70–75%).

Весьма значительными величинами подземного питания (40–50%) обладают и реки равнинных районов в условиях достаточного увлажнения, большой густоты речной сети и неглубокого залегания подземных вод, хорошо дренируемых речными руслами.

Следует отметить, что коэффициент подземного питания является важнейшей характеристикой речной системы, обуславливая величину базисного стока реки, равномерность его распределения внутри года, а следовательно, и возможность более эффективного использования речного стока в хозяйственных целях.

Хозяйственная деятельность человека приводит к изменению уровней подземных или поверхностных вод, что может в значительной мере нарушить естественные условия их взаимодействия. Наибольшие изменения происходят при строительстве больших водохранилищ, интенсивной эксплуатации подземных вод, при орошении больших массивов засушливых земель.

Взаимодействие поверхностных и подземных вод, и в частности дренирование речными системами подземных водоносных горизонтов, способствует поступлению в Мировой океан с суши значительного объема пресных подземных вод.

По данным Института географии РАН (Львович, 1974; 1986), полученным путем расчленения гидрографов стока рек, оказалось, что средний для Земного шара коэффициент подземного питания рек близок к 30% и изменяется по континентам от 24 до 35%. По оценкам гидрогеологов Института водных проблем РАН (Зекцер и др., 1984; Зекцер, 2001) объем поступления в океан не дренируемых

реками подземных вод составляет около 2400 км³ в год и изменяется по континентам от 187 до 750 км³/год. Используя эти данные и оценки ГГИ (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003; Shiklomanov, 2004) по притоку речных вод в Мировой океан, в табл. 3.7 приведены данные по суммарному притоку подземных вод в Мировой океан со всех континентов. Согласно этим данным, суммарный приток подземных вод в океаны и моря составляет примерно 14,5 тыс. км³ в год, или 37% от суммарного стока рек, т. е. приток подземных вод играет заметную роль в водном балансе Мирового океана.

3.2.4. Мировой водный баланс

Водный баланс представляет собой соотношение между приходом и расходом воды, определенное для водных объектов и территорий в различных пространственных и временных масштабах. В настоящем разделе приведены данные по водному балансу континентов, океанов и Земли в целом. По существу этот водный баланс — интегральная характеристика Глобального гидрологического цикла, элементы которого (осадки, испарение, сток) осреднены за многолетний период.

Уравнение водного баланса для любой территории суши за любой интервал времени имеет следующий вид:

$$P + R'_{\text{пов}} + R'_{\text{под}} = E + R_{\text{пов}} + R_{\text{под}} \pm \Delta S, \quad (3.5)$$

где P — осадки, E — суммарное испарение; $R_{\text{пов}}$ и $R_{\text{под}}$, $R'_{\text{пов}}$ и $R'_{\text{под}}$ — соответственно поверхностный и подземный сток воды с территории и поверхностный и подземный приток воды на территорию; ΔS — изменение запасов воды на территории.

Все компоненты уравнения (3.5) выражены в миллиметрах слоя, который представляет собой объем воды за единицу времени, поделенный на площадь территории.

Если рассматривать уравнение водного баланса за многолетний период времени, то оно значительно упрощается, т. к. $\Delta S = 0$.

Оценивая водный баланс суши в глобальном масштабе, следует отметить, что на каждом континенте имеются регионы, резко различающиеся по структуре водного баланса. Большая часть территории континентов представляет собой зоны так называемого внешнего стока, речной сток с которых поступает в Мировой океан. Вместе с тем на всех континентах (возможно, кроме Антарктиды) имеются достаточно обширные регионы, которые относятся к областям так называемого внутреннего стока или бессточным областям, которые не связаны с Мировым океаном. Речной сток, формирующийся в таких областях, целиком расходуется на испарение.

Для океанических склонов и крупных речных бассейнов, относящихся к областям внешнего стока континентов, для которых притоком с соседних территорий поверхностных и подземных вод можно пренебречь, уравнение многолетнего водного баланса имеет вид:

$$P_{\text{вн}} = E_{\text{вн}} + R_{\text{вн}} + R_{\text{под}}, \quad (3.6)$$

где $P_{\text{вн}}$ — осадки; $R_{\text{вн}}$ — речной сток (с бассейна, океанического склона) в океан (море, озеро); $R_{\text{под}}$ — сток подземных вод, не дренируемый речными системами и непосредственно поступающий в океан (море, озеро); $E_{\text{вн}}$ — суммарное испарение, куда включается и дополнительное испарение, обусловленное хозяйственной деятельностью человека.

В областях внутреннего стока или бессточных, не имеющих связи с Мировым океаном, все выпадающие осадки в конечном счете расходуются на испарение, поэтому уравнение многолетнего водного баланса для таких областей принимает вид:

$$P_6 = E_6, \quad (3.7)$$

где P_6 — осадки, E_6 — суммарное испарение во внутренних бессточных областях, в величины которого включается и сток рек, сформировавшийся в регионе, и затраты воды на хозяйственные нужды.

Для континента, где имеются зоны внешнего стока и бессточные регионы, уравнение водного баланса, очевидно, будет состоять из суммы уравнений (3.6) и (3.7)

$$P_{\text{вн}} + P_6 = E_{\text{вн}} + E_6 + R_{\text{вн}} + R_{\text{под}}. \quad (3.8)$$

Для Мирового океана, а также отдельных океанов (морей), уравнение баланса пресных вод за многолетний период (без учета водообмена между океанами) будет иметь вид:

$$E_{\text{ок}} = P_{\text{ок}} + R_{\text{вн}} + R_{\text{под}}, \quad (3.9)$$

где $E_{\text{ок}}$ и $P_{\text{ок}}$ — соответственно, испарение с океана и осадки на его поверхность; $R_{\text{вн}}$ и $R_{\text{под}}$ — приток речных и подземных вод.

Для Земного шара в целом за многолетний период в условиях стационарной климатической ситуации очевидно, что общее количество выпадающих осадков должно быть равно суммарному испарению с суши и с водной поверхности; т. е. для мирового водного баланса справедливо уравнение водного баланса в виде, аналогичном уравнению для бессточных областей:

$$P_{\text{гл}} = P_{\text{ок}} + P_{\text{вн}} + P_6 = E_{\text{ок}} + E_{\text{вн}} + E_6 = E_{\text{гл}}, \quad (3.10)$$

где $P_{\text{гл}}$ и $E_{\text{гл}}$ — глобальные величины осадков и испарения с поверхности всего Земного шара.

Отметим, что это уравнение, впрочем так же, как и уравнения (3.5)–(3.9), справедливо при допущении, что приход воды из космоса уравновешивается поступлением водяного пара в космос, а приток глубоких, так называемых ювенильных вод, компенсируется затратами воды на гидратацию (см. выше, разд. 3.2.1).

Ниже приводятся осредненные за многолетний период (50 лет) количественные оценки основных компонентов глобального водного баланса (осадков, испарения, поверхностного и подземного стока) для всех континентов, океанов и для Земли в целом. Эти оценки основаны, главным образом, на данных, опубликованных в различные годы в работах (Мировой... 1974; Shiklomanov, Rodda, ed., 2003; Shiklomanov, 2004).

Основной приходный компонент водного баланса — осадки, определены путем обобщения данных наземных и судовых наблюдений на мировой метеорологической сети с учетом введения поправки на показания осадкомеров.

Объемы речного стока в формулах (3.5)–(3.9), полученные по данным наблюдений мировой гидрологической сети, и количественные характеристики испарения, обусловленного хозяйственной деятельностью человека, приняты по данным обобщений, приведенных в работах (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003).

Приток в океаны подземных вод, не дренируемых речными системами, определен приближенно

Среднеголетний водный баланс континентов

Континент	Площадь, (10 ³ км ²)	Осадки, (P)		Приток поверхностных вод в океан, (R _{поверх})		Приток подземных вод, (R _{под})		Испарение*, (E)		Невязка водного баланса P - R - E	
		мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	% от P
Европа	10460	792	8290	243	2544	18	187	511	5354	20	2,5
Северная Америка	24230	757	18336	312	7560	17	408	418	10123	10	1,4
Африка	30100	742	22344	117	3520	9	284	538	16190	78	10,5
Азия	43475	742	32240	273	11860	17	750	423	18395	29	3,9
Южная Америка	17840	1593	28420	658	11750	22	390	851	15176	62	3,9
Австралия и Океания	8950	791	7080	257	2300	42	381	492	4400	0	0
Антарктика	13980	177	2480	165	2310	0	0	0	0	12	6,8
Область внешнего стока (приближенно)	119000	928	110500	352	41840	20	2400	512	60950	44	4,7
Область внутреннего стока (приближенно)	30200	288	8690	0	0	0	0	288	8687	0	0
Территория суши в целом	149000	800	119200	281	41840	20	2400	467	69637	32	4,0

* Примечание. Величины испарения включают речной сток, сформированный в пределах областей внутреннего стока.

с использованием мировой гидрогеологической карты масштаба 1 : 2 500 000 (Зекцер, 2001).

Для оценки суммарного испарения с суши и океана использованы расчетные методы на основе материалов наблюдений на метеорологических станциях.

В табл. 3.8 и на рис. 3.5 приведены компоненты водного баланса для всех континентов (включая Антарктиду) и для суши в целом.

На данных по водному балансу Антарктиды следует остановиться особо. Главный приходный компонент водного баланса Антарктического континента — осадки, которые оцениваются в среднем в 177 мм, или 2480 км³ в год; главный расходный компонент — откалывание айсбергов, а также подледный и поверхностный сток, которые в сумме составляют 2310 км³, или 165 мм в год. Испарение компенсируется конденсацией и принимается равным нулю. Аналогично и другие незначительные по величине приходные составляющие баланса компенсируются расходными составляющими.

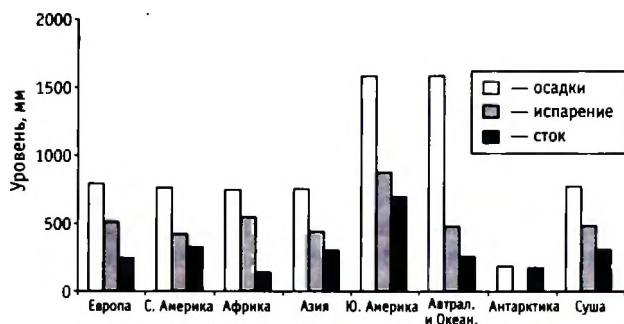


Рис. 3.5. Многолетний водный баланс суши

Поскольку в табл. 3.8 для каждого континента все компоненты водного баланса определялись независимо и даже различными авторами, в последних графах таблицы приведены абсолютные (в мм) и относительные (в % от осадков) невязки баланса, которые, в общем, показывают степень надежности расчета баланса.

Как следует из таблицы, к областям внешнего стока относится большая часть суши с островами (80%). На эту территорию приходится 93% осадков, выпадающих на сушу, 88% — испарения и 100% объема притока пресных вод в Мировой океан.

К областям внутреннего стока относится 30,2 млн км², или 20% суши. Наиболее значительные области внутреннего стока имеют место в Азии (12,3 млн км²), в Африке (9,6 млн км²) и в Австралии (3,9 млн км²). Большая часть областей внутреннего стока расположена в аридных и полупустынных и засушливых пустынях, полупустынях и сухостепных районах, характеризующихся избытком тепла и недостаточным количеством осадков (см. выше, табл. 3.6).

Всего на территорию суши (с островами) выпадает осадков примерно 119 тыс. км³ в год, или 800 мм слоя, в том числе в областях внешнего стока — 110 тыс. км³, или 928 мм, и в бессточных областях — 8,7 тыс. км³, или 288 мм слоя. Наибольшим слоем годовых осадков характеризуется Южная Америка (1600 мм), наименьшим — Антарктида (177 мм); на остальных континентах слой осадков близок по величине и составляет примерно 740 мм для Азии и Африки, 760 — для Северной Америки,

790 — для Европы и Австралии с Океанией (табл. 3.8 и рис. 3.5). Следует отметить, что на Австралийском континенте средний слой осадков составляет всего 456 мм, в то время как на островах Океании примерно 2700 мм.

Суммарный приток речных вод с континентов (без Антарктиды) в Мировой океан составляет 39,5 тыс. км³ в год. Кроме того, в Океан поступает примерно 2,4 тыс. км³ подземных вод, не дренируемых реками, и 2,3 тыс. км³ пресных вод в виде айсбергов и талых вод с ледяного покрова Антарктиды. Таким образом, всего в Мировой океан с суши поступает примерно 44,2 тыс. км³ пресной воды в год; это 370 мм слоя на области внешнего стока или 300 мм на всю территорию суши.

Большая часть притока пресных вод, поступающих с суши в Мировой океан, приходится на Азию и Южную Америку — 24,7 тыс. км³ в год, или 56%. Меньше всего приток в океаны с территории Антарктического материка (2,3 тыс. км³), Австралии с Океанией и Европы (по 2,7 тыс. км³).

Суммарное испарение по континентам изменяется от 420 до 850 мм (без Антарктиды, где испарение близко к нулю). Величины суммарного испарения, приведенные в табл. 3.8, как указывалось выше, включают в себя величины стока в бессточных областях, которые, в конечном счете, полностью расходуются на испарение и безвозвратные потери воды, обусловленные хозяйственной деятельностью человека.

В последних графах табл. 3.8 представлены величины невязки водного баланса. Для всей суши невязка составляет 32 мм слоя, или 4% от величины основной приходной составляющей баланса — осадков. Максимальная невязка составляет 10,5% (Аф-

рика), для большинства остальных континентов она не превышает 4%, что, в общем, свидетельствует о достаточной надежности выполненных оценок.

Среднегодовое количество пресных вод в океанах рассчитывается по уравнению (3.9). Все компоненты водного баланса, полученные по наиболее полным современным данным, представлены в табл. 3.9.

В таблице приток материковых вод включает в себя приток речных вод, приток подземных вод, не дренируемых речными системами, и приток пресных вод с Антарктического материка. Для Тихого, Атлантического и Индийского океанов компоненты водного баланса приведены отдельно для южных секторов, имеющих специфические особенности водного баланса. Эти сектора располагаются между южными оконечностями Австралии, Африки, Южной Америки и Антарктидой и имеют весьма ограниченный приток пресных вод, который в большинстве своем представлен твердым и талым ледовым стоком Антарктиды.

Из данных табл. 3.9 видно, что объем пресных вод, поступающих в Мировой океан, составляет 502 тыс. км³ в год, причем большая часть из них (91%) приходится на атмосферные осадки, равные 458 тыс. км³. Более половины этого объема приходится на долю Тихого океана. В результате превышения количества осадков, выпадающих на его водную поверхность (260 тыс. км³ в год), и материкового стока (около 13 тыс. км³ в год), над испарением (около 268 км³ в год) в Тихом океане возникает избыток пресной воды, равный примерно 4,6 км³ в год, который перетекает в другие океаны. Избыток пресных вод создается также в Северном Ледовитом океане, где, хотя осадки и невелики

Таблица 3.9

Баланс пресных вод океанов

Океан	Площадь поверхности, млн км ²	Осадки, (P)		Испарение, (E)		Сток пресных вод с континентов, R		Баланс пресных вод	
		тыс. км ³	мм	тыс. км ³	мм	тыс. км ³	мм	тыс. км ³	мм
Тихий	178,7	260,0	1460	268,2	1500	12,8	72	4,6	30
южный сектор	25,3	28,9	1140	17,3	684	1,6	63	13,2	520
без южного сектора	153,4	231,1	1510	250,9	1640	11,2	73	-8,6	-60
Атлантический	91,7	92,7	1010	123,7	1350	21,6	236	-9,4	-100
южный сектор	15,5	18,4	1190	7,2	466	0,6	39	11,8	760
без южного сектора	76,2	74,3	975	116,5	1530	21,0	276	-21,2	-280
Индийский	76,2	100,4	1320	107,4	1410	5,5	72	-1,5	-20
южный сектор	28,5	35,4	1240	19,6	688	0,8	28	16,6	580
без южного сектора	47,7	65,0	1360	87,8	1840	4,3	90	-18,5	-390
Северный Ледовитый	14,7	5,3	361	3,2	220	4,3	299	4	440
Мировой	361,3	458,0	1270	502,5	1392	44,2	122	0,0	0,0

Примечание. Элементы баланса пресных вод океанов приведены округленно.

(около 5 тыс. км³ в год) они значительно превышают испарение с водной поверхности океана. Средняя величина испарения с Мирового океана составляет примерно 1390 мм, изменяясь по отдельным океанам от 1500 мм (Тихий океан) до 220 мм (Северный Ледовитый).

В Тихом, Атлантическом и Индийском океанах имеются области избытка и дефицита пресных вод. При этом значительное превышение суммы осадков и материкового стока над испарением отмечается в южных секторах океанов, тогда как в остальной части акватории океанов наблюдается дефицит пресных вод. Избыток пресных вод в южных секторах Тихого, Атлантического и Индийского океанов формируется в основном за счет очень большого превышения осадков над испарением (см. выше, разд. 3.2.3.1). Роль пресных вод, поступающих с материков, в этих районах незначительна.

Суммарный приток материковых вод в Мировой океан составляет 44,2 тыс. км³ в год, из которых примерно 39,5 тыс. км³ приходится на речной сток, 2,4 тыс. км³ — на подземные воды, непосредственно (минуя реки) поступающие в океан, и 2,3 тыс. км³ — на сток с Антарктиды в виде откалывающихся айсбергов и тающего льда. Около половины притока материковых вод в Мировой океан приходится на Атлантический океан, куда впадают четыре из шести крупнейших рек мира (Амазонка, Конго, Ориноко и Ла-Плата).

Наименьшим притоком материковых вод характеризуется Северный Ледовитый океан (4,3 км³ в год), или примерно 10% всего притока. Однако именно для этого океана особенно важен приток пресных вод с материка, поскольку он содержит всего 1,2% объема Мирового океана.

Современные оценки среднего за многолетний период Мирового водного баланса, рассчитанные по уравнению (3.10), приведены в табл. 3.10.

Данные таблицы справедливы в среднем за мно-

голетний период для стационарных условий, когда изменениями уровня Мирового океана и запасов воды на континентах можно пренебречь.

Анализируя полученные данные, приведенные в табл. 3.8–3.10, а также результаты климатических исследований последних лет, по-видимому, можно предположить отсутствие сколько-нибудь значительного одностороннего водообмена между атмосферой и космосом. Во всяком случае, величина такого водообмена ничтожно мала и не может быть обнаружена путем расчета водного баланса. В частности, расчеты показывают, что величина испарения с Мирового океана, определенная прямым методом, практически совпадает с суммой осадков и притока пресных вод с континентов.

Испарение с поверхности суши (табл. 3.8), также рассчитанное прямым методом (включая потери речных вод на континентах), оказалось равным 467 мм, т. е. несколько меньше, чем разность осадков и стока (499 мм). Различие значений испарения с суши, определенных двумя независимыми способами, составляют примерно 4%, и его, конечно, нельзя объяснить наличием какого-то одностороннего выноса влаги с континентов. Величина этой невязки лежит в пределах точности измерений и расчетов элементов водного баланса суши и может лишь служить подтверждением их вполне удовлетворительного согласования.

В соответствии с данными табл. 3.10, для Земного шара в целом годовая сумма осадков, численно равная величине испарения, составляет 577 000 км³, или 1130 мм, что существенно больше результатов всех прежних оценок. Уточнение количества осадков в основном связано с введением детальных поправок на их недоучет современными осадкомерами, что особенно важно для полярного и субполярного, а также умеренного климатических поясов, где доля твердых осадков составляет существенную часть годовой суммы осадков.

Таблица 3.10

Мировой водный баланс

Поверхность	Площадь, млн км ²	Осадки		Испарение		Приток в океан					
		км ³	мм	км ³	мм	поверхностные воды		подземные воды		суммарный приток	
						км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм
Земной шар в целом	510	577 000	1130	77 000	1130	—	—	—	—	—	—
Мировой океан	361	458 000	1270	502 500	1392	41 800	116	2 400	6	44 200	122
Суша:											
области внешнего стока	119	110 000	924	66 000	554	41 800	350	2 400	20	44 200	370
области внутреннего стока	30	8 900	300	8 900	300	—	—	—	—	—	—
Площади суши в целом	149	119 000	800	74 900	500	41 800	280	2 400	20	44 200	—

Примечание. Элементы водного баланса приведены округленно; невязка баланса включена в испарение.

Годовая сумма осадков на континентах составляет $119\,000\text{ км}^3$ в год, или 800 мм , что примерно на 10% больше наиболее полных и точных прежних оценок. Сумма осадков, выпадающих на океаны, равняется $458\,000\text{ км}^3$, или 1270 мм в год, таким образом, слой осадков на океанах в полтора раза, а объем осадков примерно в 4 раза больше, чем на суше.

Средняя величина испарения с поверхности океана составляет $502\,000\text{ км}^3$ в год или 1390 мм , а с суши — $74\,900\text{ км}^3$, или 500 мм (включая величины испарения, обусловленные хозяйственной деятельностью человека). Высота слоя испарения с поверхности океана почти в 3 раза больше, чем с суши. Объем ежегодно испаряемой воды с океана равняется 87%, а с суши — 13% суммарного испарения с поверхности всего Земного шара. Следует отметить, что интенсивное увеличение водопотребления в странах мира (особенно развитие орошения) неизбежно приводит к некоторому увеличению суммарного испарения с суши.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше компоненты глобального водного баланса определены в среднем за многолетний период и справедливы для стационарной климатической ситуации на нашей планете. Предполагается, что вековые запасы воды на суше, в ледниках и подземных горизонтах практически неизменны, осадки и сток не имеют выраженного тренда, уровень Мирового океана постоянен. Применительно к периодам времени в несколько десятков лет эти условия практически выполняются, во всяком случае, они находятся в пределах погрешности наших оценок. Однако, если рассматривать периоды более 50–100 лет, то основные элементы глобального водного баланса могут претерпевать весьма заметные изменения, и это необходимо принимать во внимание при расчетах.

3.2.5. 0 современных изменениях глобального гидрологического цикла

Проблема изменений глобального гидрологического цикла вот уже в течение трех десятилетий занимает умы тысяч ученых многих стран мира и является объектом неослабного внимания прессы и широкой общественности. И это понятно, поскольку данные наблюдений за элементами гидрологического цикла достаточно достоверно свидетельствуют о происходящих в последние десятилетия значительных изменениях глобальной приземной температуры воздуха, температуры поверхности

Мирового океана и его уровня; причем все эти изменения имеют тенденцию роста, интенсивность увеличения которого ожидается и в перспективе (IPCC, 2001; 2007).

Динамика изменения глобальной температуры воздуха за более чем 140-летний период инструментальных наблюдений приведена на рис. 1.1–1.2 (см. гл. 1). В течение последнего столетия глобальная температура воздуха увеличилась на $0,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$, больше в Северном и меньше в Южном полушариях. Причем, как видно из рисунков, во временном ряду изменения температуры имеется значительная неоднородность. В частности, наибольшее потепление отмечалось с 1910 по 1945 г. и с 1976 по 2005 г., а в период 1946–1975 гг. наблюдалось похолодание (Израэль и др., 2001).

Согласно спутниковым данным, с конца 1960-х гг. на планете произошло уменьшение площади снежного покрова примерно на 10%; по наземным наблюдениям продолжительность ледяного покрова на реках и озерах в средних и высоких широтах Северного полушария уменьшилась на 10–15 дней, наблюдалось повсеместное отступление горных ледников в неполярных районах. В Северном полушарии с 1950-х гг. площадь морского льда в весенний и летний периоды сократилась почти на 10–15%, еще больше уменьшилась толщина морского льда. В последние десятилетия теплые эпизоды Эль-Ниньо — южное колебание, стали более частыми, более устойчивыми и более интенсивными, чем в предшествующие 100 лет.

Как показано выше, на рис. 3.4 (см. разд. 3.2.3.3), средний уровень Мирового океана за период XX столетия повысился на 18 см, т. е. повышался в среднем на 1,8 мм в год; при этом с 1923 г. повышение составило 2 мм/год, а в последние 10–12 лет достигло 3 мм/год (Малинин, 2008).

Подавляющее большинство ученых мира, и об этом в полной мере свидетельствуют итоги работ Международной группы экспертов по изменениям климата, учрежденной Программой ООН по окружающей среде и ВМО (Израэль и др., 2001; IPCC, 2001; 2007), считают, что главной причиной повышения глобальной температуры и всех последствий этого потепления является повышение концентрации в атмосфере углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов (метана (CH_4) и закиси азота (N_2O)), обусловленной хозяйственной деятельностью человека (сжиганием органического топлива, сокращением площади лесов, сельскохозяйственной обработкой почвы, химической промышлен-

ностью и др.). И для этого имеются все основания. Как показывают наблюдения и косвенные методы оценки, концентрация углекислого газа в атмосфере за последние 250 лет увеличилась на 33%; столь высокого уровня, как в настоящее время, она не достигала ни разу за последние 420 тыс. лет. Скорость увеличения концентрации углекислого газа в последнее столетие была беспрецедентной в течение, по крайней мере, последних 20 тыс. лет (Израэль и др., 2001). Начиная с 1750 г. концентрация метана в атмосфере увеличилась на 151%, а концентрация закиси азота — на 17% и продолжает возрастать.

При этом приведенные данные по увеличению концентрации в атмосфере парниковых газов достаточно неплохо коррелируются с их выбросами в атмосферу в ходе развития мировой экономики.

В проблеме глобального потепления климата главной практической задачей является прогноз этих процессов на перспективу и оценка последствий для окружающей среды, приоритетность жизнеобеспечения населения и развития экономики с тем, чтобы своевременно разработать комплекс мероприятий по адаптации и предотвращению возможных негативных явлений.

Исходя из концепции, что основной причиной глобального потепления является повышение концентрации парниковых газов антропогенного происхождения в атмосфере, прогнозы изменений климата на перспективу производятся с использованием сложных трехмерных глобальных климатических моделей (ГКМ), по которым вплоть до 2100 г. рассчитываются ожидаемые изменения климатических характеристик для всего Земного шара на основе специально разработанных сценариев выбросов в атмосферу парниковых газов и аэрозолей, базирующихся на разных гипотезах будущего развития мировой экономики.

В основе ГКМ лежат физические законы, описываемые математическими уравнениями, вид и количество которых определяет уровень сложности модели и полноту учитываемых ею процессов и обратных связей в климатической системе. К настоящему времени научными коллективами в разных странах мира разработано большое количество ГКМ. Все современные модели, используемые в расчетах изменений климата, в той или иной мере включают в качестве основных компонентов интерактивные модели атмосферы, океана, верхних слоев суши, криосферы и биосферы, учитывают обратные связи.

Тем не менее использование их для прогнозов климата по одним и тем же сценариям выбросов в атмосферу парниковых газов дают весьма различные результаты не только для региональных, но и глобальных характеристик климатической системы. Например, согласно расчетам с использованием разных ГКМ и набора сценариев выброса парниковых газов, в течение 1990–2100 гг. средняя глобальная поверхностная температура воздуха может повыситься на 1,5–5,8 °С (IPCC, 2001). При этом различия между оценками потепления на 2100 г. с применением разных ГКМ превышают различия между оценками, полученными по одной и той же модели, но с использованием разных сценариев выбросов. Что касается расчетов по моделям ожидаемых в перспективе изменений климатических характеристик для отдельных регионов и речных бассейнов, то, как показывает опыт практического использования ГКМ (Georgievsky, Shiklomanov, 2003), для такой важнейшей характеристики климата, как атмосферные осадки, нередко можно получить для одного и того же сценария, но по разным моделям, не только резко различающиеся, но и прямо противоположные величины изменений.

Все изложенное, в общем, свидетельствует о несовершенстве современных ГКМ, которые, по-видимому, далеко не в полной мере учитывают физические процессы, действующие в климатической системе и, прежде всего, сложные обратные связи.

Между тем следует отметить, что «парниковая» концепция глобального потепления поддерживается далеко не всеми учеными, как в нашей стране, так и за рубежом. Противники этой концепции считают, что «парниковая» гипотеза, лежащая в основе современных глобальных климатических моделей, не доказана, и многие простые физические рассуждения ей противоречат. Хорошо известно, что 98% общего (с атмосферой) количества CO₂ содержится в океане, газообмен с которым крайне изменчив и зависит от динамики океана и его температуры. Таким образом, повышение температуры в нижних слоях атмосферы, и, как следствие, увеличение содержания CO₂, могут быть просто следствием изменения условий в океане за счет естественных факторов (Перов, Показеев, 2006). Например, обнаружена достаточно высокая корреляция температуры поверхности каждого мирового океана с солнечной активностью (White et al., 1997).

Целый ряд авторов (в том числе российских), анализируя многолетнюю динамику температуры территории Европы для оценки ожидаемых изме-

нений климата в начале XXI в., пришли к выводу, что наблюдающийся тренд потепления по своим автомоделным свойствам должен быть отнесен к естественной изменчивости климата; доля же компонентов этого тренда, вызванного внешними факторами (за счет парниковых газов и других факторов), должна быть оценена как незначительная. В частности, учитывая характер и современную фазу естественного колебания температуры воздуха для Северной Евразии, авторы считают, что следует ожидать остановки дальнейшего потепления уже в ближайшем будущем (Jakubiak et al., 1996). Анализ среднегодовых значений температуры в Центральной Англии (данные наблюдений с 1659 г.) показали (Фрик, Соколов, 1998), что повышение температуры, наблюдающееся в последнее столетие, началось уже в середине XIX в. и отнюдь не ускоряется в последние десятилетия. При этом в период с 1700 по 1750 г. температура повышалась гораздо быстрее, чем за последние 100 лет.

По данным российских океанологов (Сорохтин, 2001), реакция климата Земли на антропогенное поступление в атмосферу углекислого газа обуславливает два последствия: во-первых, при этом несколько повышается атмосферное давление, во-вторых, несколько снижается значение показателя адиабаты смеси атмосферных газов. Оба эти фактора изменяют температурный режим тропосферы в противоположных направлениях, и в результате ее средний температурный режим практически остается неизменным.

Многие ученые связывают процессы глобального потепления с солнечной активностью. Как известно, суммарная солнечная радиация на верх-

ней границе атмосферы мало изменяется во времени, колебания и тренды так называемой «солнечной постоянной» по данным спутниковых наблюдений не превышают всего 0,1% (Calder, 1997). Однако временные флуктуации солнечной активности, обычно выраженные числами Вольфа, весьма значительны и, по мнению авторов (Перов, Показеев, 2006), могут оказывать заметное влияние на различные природные процессы.

Согласно исследованию (Перов и др., 1999; Перов, Показеев, 2006), солнечная активность изменяет характеристики солнечного ветра и гелиосферы; при этом конденсационный механизм способствует образованию перистой облачности и усиленному развитию высококучевых облаков, изменяющему альбедо и создающему условия для интенсификации динамических процессов и изменения температуры земной поверхности (Svensmark, 1998; Ramanatau et al., 1999). И этот важный естественный фактор изменчивости климата практически не учитывается в современных моделях климата.

В последние десятилетия, как следует из рис. 3.6, числа Вольфа были достаточно высокими, и появилось особенно много работ российских и зарубежных ученых, указывающих на взаимосвязь изменений различных климатических характеристик, и в частности атмосферной циркуляции с солнечной активностью (Сытинский, 1983; Пудовкин, Распопов, 1993; Сытинский, Постников, 1995; Pudovkin et al., 1997; Tree... 2001; Современные глобальные... 2006). Например, пулковские астрономы считают (и об этом они неоднократно заявляли в средствах массовой информации), что солнечная активность в последние десятилетия была особен-

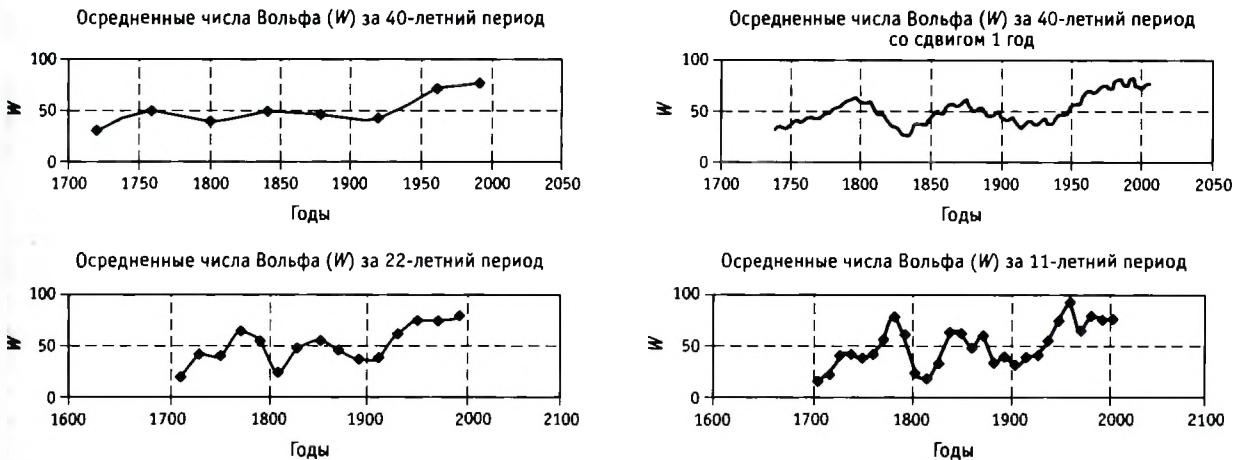


Рис. 3.6. Динамика чисел Вольфа (W) во времени

но высокой и вызвала «эффект разогретой сковородки» на Земле и на других планетах солнечной системы. Это обстоятельство связано с тем, что в период повышенной солнечной активности несколько повышена прямая солнечная радиация, а следовательно, и поглощенная солнечная радиация на поверхности Мирового океана и суши. Рост температуры воздуха и водной поверхности океана интенсифицирует Малый и Большой гидрологические циклы. С океана больше испаряется влаги и на его поверхность выпадает больше осадков. Другая часть испарившейся влаги с океана переносится на сушу, где осадки также увеличиваются. Температура поверхности суши, вследствие несколько большего притока прямой солнечной радиации, а также из-за наличия градиента температур, вызванного расширением полярной атмосферы, несколько увеличивается. Вследствие этого процесса, а также стока рек, срабатываются запасы воды в почво-грунтах зон аэрации и насыщения, в озерах, болотах, в подземных льдах зоны многолетней мерзлоты, ледниках, что приводит к подъему уровня Мирового океана и, как следствие, к увеличению частоты Эль-Ниньо (Петросянц и др., 1998; Ropelwski, Halpert, 1987; Гушина, Петросянц, 1992; Бабкин, Постников, 2004; Клиге и др., 1998). А это обстоятельство, в свою очередь, интенсифицирует процессы общей циркуляции атмосферы, и в частности циклонообразование над Атлантикой, особенно в зимнее время в умеренных широтах, куда в годы наиболее интенсивного Эль-Ниньо поступает намного больше скрытого тепла и водяного пара из тропических широт.

Существует большое количество публикаций, в которых нестабильность вращения Земли, а именно, изменения ее угловой скорости вращения и длительности суток связываются с разнообразными геофизическими процессами, в частности с перераспределением воздушных и водных масс, со сменной атмосферной циркуляции, колебаниями климата, процессами Эль-Ниньо, эволюцией ледниковых покровов и т. д. Подробный обзор этих публикаций приведен в работе (Сидоренков, 2006), где, в частности, показано, что существует тесная связь между многолетними флуктуациями вращения Земли и колебаниями глобальной температуры воздуха, региональных осадков и облачности (Jean-Pierre, Jolanta, 1992).

В недавно опубликованном исследовании (Дзюба, Панин, 2007) авторы рассматривают физический механизм воздействия многолетних измене-

ний угловой скорости вращения Земли на барическое поле, атмосферную циркуляцию и радиационный баланс атмосферы. Анализируя накопленные к настоящему времени эмпирические данные, они приходят к выводу, что глобально направленные и длительные (более десятилетий) воздействия на климатическую систему происходят под влиянием двух главных факторов — увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере и изменения вектора угловой скорости вращения Земли (по их мнению, все попытки обосновать влияние солнечной активности на климат не являются убедительными). По данным указанных авторов, в период увеличения скорости вращения Земли наблюдается повышение приземной температуры воздуха, а в период замедления вращения Земли, наоборот, имеет место похолодание, особенно заметное в Северном полушарии (как это было, например, в период со второй половины 1940-х до середины 1970-х гг.). При этом наиболее чувствительны к ротационным возмущениям зоны умеренных и высоких широт в зимнее время года. Исходя из изложенного положения, авторы не только объясняют похолодание глобального климата в период с 1946 по 1975 гг., но и дают ориентировочный прогноз влияния ротационного фактора на глобальную температуру воздуха до 2090 г. По их данным, в период с 2010 по 2045 г. ротационный фактор будет заметно (примерно на $0,3^{\circ}\text{C}$) компенсировать повышение глобальной температуры воздуха за счет «парникового» эффекта, а с 2045 по 2080 г. воздействие обоих факторов будет однонаправленным, т. е. эффект изменения скорости вращения Земли будет усиливать эффект потепления за счет «парникового» эффекта. При этом будет наблюдаться увеличение аномальности и экстремальности климата.

Рассматривая в общем роль естественных (влияние солнечных процессов, вращение Земли, циклические колебания климата и др.) и антропогенных факторов воздействия на климатическую систему, противники «парниковой» концепции глобального потепления считают (Найденов, Швейкина, 2000; Перов, Показеев, 2006), что в этой концепции, во многом исходя из политических и экономических интересов, преувеличивается и широко эксплуатируется сугубо антропогенный характер воздействия на биосферу с неминуемыми отрицательными последствиями для всей цивилизации. При этом при рассмотрении сложных экологических проблем, как правило, не применяется системный подход и грубо нарушается основной принцип науки, кото-

рый гласит: самая простая гипотеза, учитывающая наибольшее количество фактов, с наибольшей вероятностью является правильной.

Указанные авторы полагают, что большое количество имеющихся к настоящему времени результатов наблюдений и научных фактов позволяет сформировать самую простую и реальную гипотезу: «естественные факторы являются определяющими в глобальных изменениях окружающей среды». Об этом, прежде всего, свидетельствует вся история Земли. Что касается антропогенных факторов, то их роль в настоящее время может и должна быть тщательно оценена и включена в будущие надежные прогностические модели, основанные на новых подходах к сложным открытым динамическим системам, обладающим различного рода обратными связями и резонансами.

С такими общими выводами трудно не согласиться. По всей видимости, их поддержит и большинство сторонников концепции глобального потепления антропогенного происхождения. Во всяком случае, это в полной мере относится к специалистам, которые разрабатывают глобальные модели циркуляции атмосферы для прогнозирования влияния увеличения концентрации «парниковых» газов в атмосфере на изменение климатических характеристик. Они всегда предупреждают, что их модели не предназначены для прогнозов естественных колебаний климата (Мелешко и др., 2004).

Таким образом, становится очевидным, что для надежного прогнозирования глобального климата на долгосрочную перспективу необходимо знать его естественные изменения и адекватно, с использованием надежных моделей, учитывать антропогенную составляющую, обусловленную демографическими, экономическими, технологическими и политическими факторами мирового развития.

3.3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Гидрологический цикл применительно к любой территории суши можно подразделить на три компоненты: атмосферную, поверхностную (наземную) и подземную. Наиболее динамичными являются первые две компоненты, которые в основном и обуславливают величины и распределение по территории главных элементов водного баланса: ат-

мосферных осадков, испарения и речного стока. В настоящем разделе эти две компоненты кратко рассматриваются применительно к территории нашей страны.

3.3.1. Водообмен в атмосфере

Атмосферная компонента гидрологического цикла характеризуется горизонтальным и вертикальным перемещением атмосферной влаги при ее фазовых преобразованиях. Для любой территории она характеризуется двумя основными показателями — содержанием влаги в атмосфере и интенсивностью ее переноса. Применительно к территории бывшего СССР и Российской Федерации обе эти характеристики рассмотрены в исследованиях (Калинин, 1974) и особенно детально и полно с использованием огромного объема данных по зондированию атмосферы (Кузнецова, 1978); эти уникальные данные главным образом и положены в основу настоящего раздела.

Основным источником влаги для России является Атлантический океан, увлажняющее влияние которого распространяется на всю территорию страны. Циркуляционные факторы и, отчасти, горные хребты ограничивают увлажняющее влияние Тихого океана, который к тому же холоднее Атлантического. Северный Ледовитый океан из-за низких температур в полярных широтах существенно не влияет на увлажнение материка Евразия.

Зимой, помимо западного переноса, существенное влияние на распределение влагосодержания в атмосфере оказывает восточный перенос воздушных масс по южной периферии сибирского антициклона и его западного отрога и по северной части ложбины Алеутской депрессии, а летом — по северной периферии Азиатской термической депрессии.

Влияние орографии на влагосодержание атмосферы неоднозначно. Воздушный поток, встречая на своем пути горное препятствие, частично его обтекает, а частично через него переваливает. Охлаждение воздушной массы при ее подъеме вдоль наветренного склона часто сопровождается конденсацией и выпадением атмосферной влаги, так что на подветренную часть горного хребта воздушные массы поступают с меньшим влагосодержанием. Уменьшению влагосодержания здесь способствует и нисходящее движение воздуха. Кроме того, само уменьшение слоя атмосферы над горами и понижение температуры воздуха обуславливает

уменьшение ее влагосодержания. Облачность и атмосферные осадки, выпадающие на наветренных частях гор, в свою очередь, сложным образом влияют на поле испарения — источник «местной» влаги в атмосферном влагообороте.

Преобладающие в году условия формирования поля влагосодержания атмосферы создают характерные черты пространственного распределения средних годовых величин влагосодержания.

В связи с большими температурными контрастами между северными и южными широтами нашей страны, средние за год величины влагосодержания атмосферы отличаются в пределах континентальной части России в 2–2,5 раза: от 6–7 мм вблизи азиатского побережья Северного Ледовитого океана (на его европейском побережье 8–10 мм) до 15–17 мм на юге Западного (европейская часть России) и Срединного (бассейн Оби в пределах России) регионов и на крайнем юге Приморья.

Влагосодержание атмосферы над Западным регионом страны понижается (как и зимние температуры воздуха) с юго-запада на северо-восток, отражая ослабление в этом направлении увлажняющего влияния Атлантики. Далее на восток изменение влагосодержания атмосферы принимает постепенно широтное направление, что указывает на возрастание роли радиационного фактора в формировании полей температуры и влажности воздуха в более континентальных районах. Характерная черта поля среднего годового влагосодержания атмосферы — его повышенные значения в широтной зоне 52–57° с. ш., соответствующей зоне усиленного западного переноса, связанной, в частности, с переносом воздушных масс по северной периферии отрога высокого давления («ось Воейкова»). В Восточной Сибири полоса относительно высокого влагосодержания атмосферы находится несколько севернее, примерно на 60° с. ш. По долине р. Лена она прослеживается почти до г. Якутска. Ее смещение на север обусловлено влиянием горного рельефа на направление воздушного потока и толщину влагосодержающего слоя атмосферы. Несколько южнее навстречу этой области повышенного влагосодержания простирается область его низких значений, которая тянется от низовий Яны и Индигирки (7 мм и менее), через Оймяконскую котловину, Алданское нагорье и Витимское плоскогорье (7–8 мм). Рассматриваемая область отражает сложную картину взаимодействия циркуляционных, радиационных и непосредственно орографических факторов.

К востоку от Яно-Индигирской низменности, по мере приближения к Тихому океану, влагосодержание атмосферы возрастает до 9 мм. Благодаря близости горных хребтов к океаническому побережью здесь наблюдаются большие градиенты в пространственном распределении влагосодержания атмосферы, особенно на юге Дальнего Востока. Вдоль восточной окраины России с севера на юг оно изменяется в пределах от 8 до 15 мм.

Увеличение градиентов в пространственном распределении влагосодержания атмосферы можно проследить и вблизи других горных систем: на Северном Кавказе, вдоль северо-западных отрогов и предгорий Алтая. Здесь наблюдается рост влагосодержания атмосферы, обусловленный как обтеканием гор воздушным потоком, так и орографическими осадками.

Влияние испарения с внутренних морей заметно отражается на поле среднего годового влагосодержания атмосферы: вблизи Чёрного и Каспийского морей оно достигает максимальных значений — 18–22 мм.

Зимой, когда испарение с суши на территории страны чрезвычайно мало, океан — практически единственный источник влаги в атмосфере. На большей части страны в этот период циркулирует атлантическая влага, поступающая в системе зональной циркуляции и при юго-западных вторжениях воздушных масс средиземноморского происхождения, отличающихся повышенным влагосодержанием. Его наибольшие величины наблюдаются над юго-западными районами России (8–10 мм), особенно над побережьями Чёрного и Каспийского морей (10–15 мм). Зимние условия атмосферной циркуляции на северо-востоке страны способствуют выносу тихоокеанской влаги на материк. Однако ее глубокому проникновению препятствуют горные хребты и мощный Сибирский антициклон. В зимнее время из-за систематического выноса холодных сухих масс воздуха по его северной и восточной периферии даже над Владивостоком влагосодержание атмосферы составляет всего 3,3 мм.

В результате взаимодействия воздушных потоков, обусловленных положением трех центров действия атмосферы — Исландской депрессии, Сибирского антициклона и Алеутской депрессии — центральные районы Якутии оказываются областью, наименее доступной потокам океанической влаги. Локализации этой области способствует и экранирующее влияние Верхоянского, Черского и Колымского хребтов, препятствующих проникновению влаги в

межгорные котловины Якутии. Этому же способствует и вторичный фактор — сильное выхолаживание воздуха, которое ограничивает предел возможного влагосодержания и благоприятствует конденсации атмосферной влаги, в том числе и наземной конденсации. Область минимального влагосодержания атмосферы зимой находится над Янской котловиной, где в январе оно составляет всего 1,7 мм слоя воды, и над Оймяконской котловиной, где несколько меньшие величины влагосодержания отражают, по-видимому, не только ее большую закрытость по отношению к влагонесущим потокам, но и ее более высокое положение (Оймякон, $H=726$ м). Эта замкнутая область пониженного влагосодержания образуется уже в ноябре. К северу от указанной области, на побережье Северного Ледовитого океана, влагосодержание несколько возрастает.

Летом тепловые контрасты между океаном и суши меняют знак и несколько сглаживаются. Появляется новый мощный источник атмосферной влаги — испарение с поверхности суши влаги, накопленной в холодный период года. Летом оно со-

измеримо по интенсивности с испарением с поверхности океанов. В формировании термического режима на территории России решающую роль играет радиационный фактор. Поэтому летом распределение влагосодержания в атмосфере в большей степени, чем зимой, носит широтный характер. В пределах континентальной части Российской Федерации влагосодержание увеличивается с севера на юг примерно в 2 раза, тогда как зимой оно уменьшается по направлению с юго-запада на северо-восток примерно в пять раз. Пространственная изменчивость поля влагосодержания заметно усиливается под влиянием местных факторов испарения, наличия больших внутренних водоемов — Чёрного и Каспийского морей, и контраста орографии.

Над северным побережьем нашей страны и над центральными районами Восточной Сибири влагосодержание атмосферы летом составляет 15–19 мм, в южной половине Европейской части и Западной Сибири — 26–28 мм, а вблизи Чёрного и Каспийского морей и над Приморьем оно достигает 30–38 мм. Характер изолиний влагосодержания атмо-

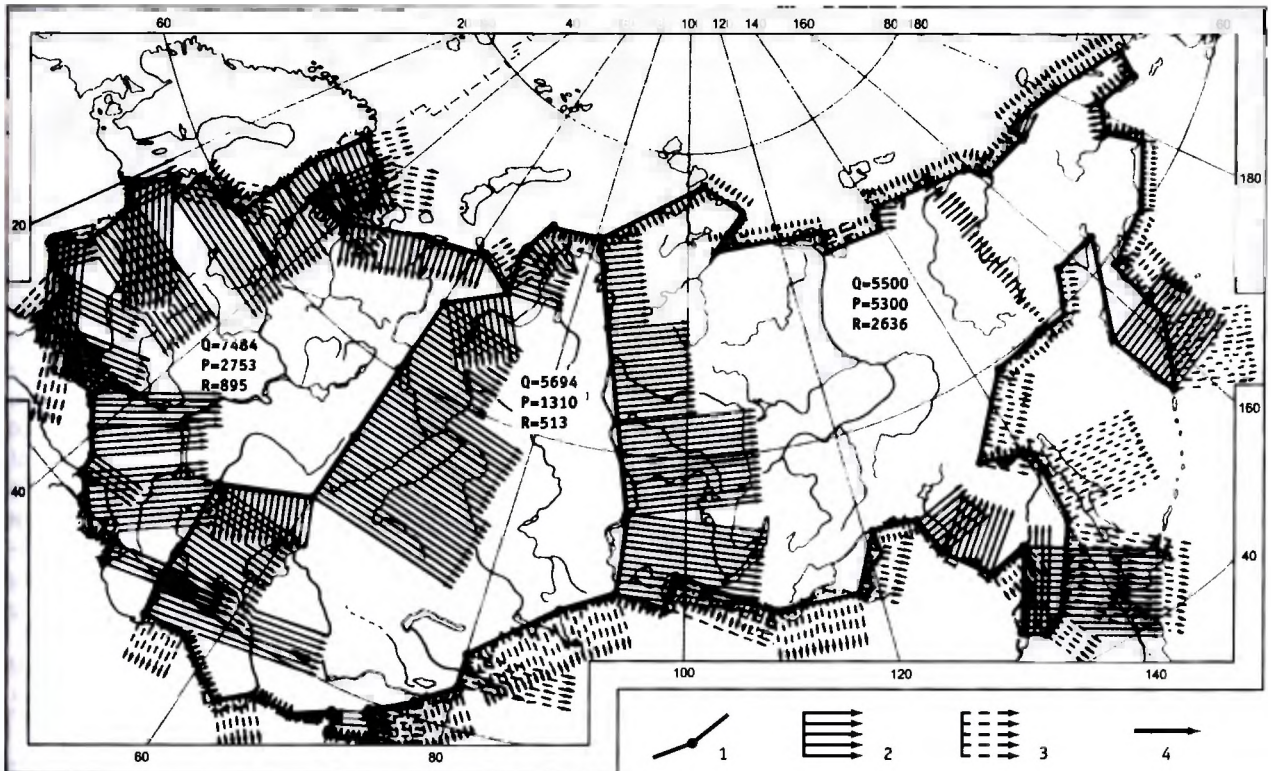


Рис. 3.7. Результирующий поток атмосферной влаги за год через границы России и бывшего СССР (Кузнецова, 1978):

1 — контур границ; 2 — преобладание притока влаги; 3 — преобладание стока влаги (масштаб 0,5 км³ влаги на 1 км контура); Q — объем влаги в атмосфере; P — объем атмосферных осадков; R — объем речного стока (в км³)

сферы над Прибайкальем и Забайкальем в июле и особенно в августе указывает на приток сюда влаги из юго-восточных муссонных районов Евразии.

Средняя годовая величина влагосодержания в атмосфере над территорией России, рассчитанная по картам его средних месячных значений, составляет порядка 10–11 мм слоя воды, что примерно в 2,5–3 раза меньше среднего для атмосферы Земли. При этом оно очень значительно изменяется по территории и особенно в течение года.

В исследованиях (Калинин, 1974; Кузнецова, 1978) среднемноголетние величины влагосодержания в атмосфере приведены для трех крупнейших регионов территории бывшего СССР: Западного, площадью 5,2 млн км², Срединного — 6,5 млн км² и Восточного — 10,3 млн км² (рис. 3.7).

Применительно к территории Российской Федерации рассматриваемые регионы имеют площади, указанные в табл. 3.11, и для них в этой таблице приведены среднемноголетние месячные величины влагосодержания в атмосфере.

В соответствии с приведенными в таблице данными, в течение года влагосодержание в атмосфере изменяется над Россией в целом примерно в 6 раз, а в Восточном регионе — в 8–10 раз, достигая минимума в январе-феврале и максимума в июле. Западный и Срединный регионы не отличаются так резко по средним значениям влагосодержания в атмосфере, как Восточный регион, где в период с ноября по апрель оно по крайней мере вдвое меньше и лишь летом достигает значений, характерных для двух других регионов страны.

Анализ данных табл. 3.11 и результаты расчетов средних величин влагосодержания в атмосфере над широтными зонами России (через 10° широты) и долготными секторами (через 30° долготы) показали, что долготные различия во влагосодержании в атмосфере летом существенно меньше, чем во все другие сезоны. Наибольшие различия наблюдаются в ноябре и декабре, когда отмечается относительно высокое влагосодержание атмосферы над Западным регионом и очень сухая атмосфера над континентальной частью России. В эти месяцы

влагосодержание вдоль широтного круга в высоких широтах различается в 2 раза, а в южных районах — в 3 раза (Кузнецова, 1978).

В течение 10 месяцев — с сентября по июнь — влагосодержание в атмосфере над Западным регионом во всех широтных зонах выше, чем в остальных долготных секторах. Только в июле и августе самые большие запасы влаги наблюдаются в атмосфере над долготным сектором 120–150° в. д. южнее 60° с. ш., где проявляется действие дальневосточного муссона. На широте Владивостока летом влагосодержание в атмосфере приближается к его внутритропическим нормам и значительно превосходит величины, характерные для западных районов Евразии.

Широтные изменения поля влагосодержания в атмосфере в пределах России того же порядка, что и долготные. Летом больше широтные контрасты, а зимой — долготные.

Факторы, определяющие влагосодержание в атмосфере, проявляются как в его суммарной величине, так и в особенностях вертикальной структуры поля. Например, орографическая закрытость и «вымораживание» атмосферной влаги в долинах центральной Якутии зимой, ледовый ландшафт вблизи арктического побережья нашей страны летом обуславливают в этих районах относительную сухость нижних слоев атмосферы. И наоборот, над побережьями Чёрного и Каспийского морей влагосодержание повышено в течение всего года.

Представленная картина распределения влагосодержания в атмосфере над территорией России характерна для среднемноголетних условий и в отдельные годы, естественно, может иметь свои особенности.

Наряду со средними значениями влагосодержания в атмосфере, важнейшим показателем атмосферной компоненты гидрологического цикла, определяющим распределение осадков и речного стока по территории, является интенсивность переноса или атмосферный влагообмен.

Выше отмечалось, что для территории России основным поставщиком атмосферной влаги является Атлантический океан. Поэтому перенос влаги над европейской частью России является наиболее

Таблица 3.11

Среднее многолетнее влагосодержание в атмосфере над территорией России, мм/год

Регион	Месяц	Площадь, млн км ²	Месяц												Год
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Западный		3,99	6,6	6,6	8	11	16	21	26	24	19	13	11	8,3	14
Срединный		2,43	5,4	5,6	7,5	10	14	18	24	21	15	11	8	6,5	12
Восточный		10,34	2,7	2,6	3,6	5	10	16	23	20	13	7	4	2,9	9

интенсивным по сравнению с другими регионами. Отсюда влага поступает в глубь нашей страны и играет большую роль в формировании водного режима и водных ресурсов Российской Федерации.

Над большей частью территории России преобладает западный перенос влаги. Наиболее интенсивен он в широтном поясе 50–60° с. ш. Западный поток влаги достигает наибольшей интенсивности и распространения в сентябре месяце. В это время в полосе 60–67° с. ш. он простирается до восточных границ нашей страны. Область повышенных значений западного потока влаги менее всего выражена в июле месяце. В этот период отмечаются наименьшие температурные широтные градиенты, обуславливающие западный перенос воздушных масс. Кроме того, в июле по северной периферии южноазиатской термической депрессии наблюдается восточный перенос влаги. По мере развития этой депрессии небольшая область восточных зональных потоков смещается на запад. Поэтому в июле над центральными районами Восточной и Западной Сибири западная составляющая потока влаги близка к нулю и влияние восточного переноса влаги в поле зонального потока прослеживается вплоть до центральных районов Европейской части России. Здесь восточный поток влаги встречается с мощным западным потоком.

Тем не менее преобладающим потоком влаги в течение всего года является перенос ее в атмосфере по направлению с запада на восток, и наибольших значений этот перенос достигает в сентябре-октябре.

Роль атмосферной компоненты глобального гидрологического цикла в увлажнении какой-либо территории может быть выявлена с помощью оценки переноса влаги через ее границы. На рис. 3.7, а также в табл. 3.12, для трех регионов территории Российской Федерации, в соответствии с оценками (Кузнецова, 1978) представлены данные о циркулирующей влаге в атмосфере Q , атмосферных осадках P и речном стоке R . Стрелками на рис. 3.7 показаны потоки влаги через границы бывшего СССР.

Таблица 3.12

Соотношение между количеством влаги Q , циркулирующей в атмосфере, атмосферными осадками P и речным стоком R

Регион	Площадь, 10^6 км^2	$Q, \text{ км}^3$	$P, \text{ км}^3$	$R, \text{ км}^3$	P/Q	R/Q
Западный	3,99	7484	2753	894,6	0,37	0,12
Срединный	2,43	5694	1310	513	0,23	0,09
Восточный	10,34	5500	5300	2635,5	0,96	0,48

Из табл. 3.12 следует, что объем переносимой в разных направлениях влаги над Западным регионом составляет около 7500 км³/год. При этом через северную границу над рассматриваемым регионом проносится за год ежегодно около 2000 км³ влаги в год (Кузнецова, 1978). В холодный период (ноябрь — май) приток и отток влаги через эту границу примерно равны между собой. Летом отток влаги на север превышает ее приток. Например, в июле отток влаги через рассматриваемую границу в три раза превышает приток, что связано с большим испарением с исследуемой территории в это время.

В октябре испарение в Северной Атлантике достигает максимума, поэтому начинают преобладать северо-западные воздушные потоки и приток влаги с севера заметно превышает ее отток на север. В целом за год перенос влаги с юга на север примерно на 150 км³ превышает ее приток с севера.

На южной границе Западного региона объем переносимой влаги составляет примерно 3000–4000 км³. Здесь большую часть года, за исключением лета, приток влаги (южный поток) существенно превышает ее отток. В целом за год приток влаги через южную границу примерно в 1,5 раза превышает ее отток.

Перенос влаги через западную и восточную границу региона характеризуется большим сходством. Приход влаги через западную границу примерно равен ее расходу на восточной границе. Для всего Западного региона отток влаги через восточную границу несколько меньше ее притока через западную. Это обстоятельство связано с осаджением влаги на западных склонах Уральских гор. Из вышеизложенного следует, что общий баланс горизонтального переноса влаги над Западным регионом определяется, по существу, ее переносом через южную границу, то есть меридиональным, а не зональным влагообменом.

Около 6000 км³ влаги из Западного региона поступает в Срединный регион. Из этого количества примерно 4000 км³ влаги выносятся в Восточный регион, в атмосфере которого приблизительно переносится около 5500 км³ влаги. Суммируя объемы влаги Q , приведенные в табл. 3.12, и исключив из этой суммы объемы влагообмена между указанными регионами, получим, что над территорией Российской Федерации переносится примерно 9000 км³/год влаги. Для территории бывшего СССР объем переносимой влаги в одном исследовании (Калинин, 1974) оценен в 13000 км³/год, а в другом (Кузнецова, 1978) — в 12000 км³/год. Из табл. 3.12

следует, что для Восточного региона России параметры P/Q и R/Q имеют наибольшие значения, что свидетельствует о наибольшем участии здесь циркулирующей в атмосфере влаги в процессах осадкообразования.

Приведенные данные показывают, что над территориями нашей страны существуют районы преобладающего притока атмосферной влаги или стока с нее. Почти вдоль всей внешней границы Западного региона, а также северного побережья России, вплоть до полуострова Таймыр, за годовой интервал времени атмосферный приток влаги превышает ее сток. На остальной части морской и сухопутной границ России преобладает атмосферный сток влаги.

Таким образом, для результирующего потока влаги характерно преобладание западной составляющей над всей территорией Российской Федерации в течение большей части года и особенно осенью. Эта картина нарушается лишь зимой на крайнем востоке страны, где в это время преобладает восточный перенос влаги. Зимой в районе Яно-Индибирской низменности проявляется область равного и наименьшего увлажняющего влияния Атлантического и Тихого океанов. Эта область характеризуется также наименьшим влагосодержанием в атмосфере и наименьшей интенсивностью западного и восточного влагопереносов.

Приведенное распределение влагосодержания в атмосфере и горизонтальных потоков влаги зимой хорошо согласуется с выводами, полученными учеными (Дроздов, Васильев и др., 1989) о том, что водораздел между бассейнами Яны и Индибирки является границей преобладающего западного и восточного влагопереносов для территории нашей страны.

3.3.2. Водообмен на земной поверхности

Атмосферная компонента гидрологического цикла, связанная с переносом влаги в атмосфере, сопровождается образованием и последующим выпадением атмосферных осадков. Именно выпадение осадков является начальным процессом для наземной компоненты Большого гидрологического цикла. Осадки, выпадающие на поверхность суши (почву, растительность, озера, болота и другие виды земной поверхности), участвуют в той или иной мере в процессах испарения, инфильтрации, стока и питания подземных вод. Разнообразие под-

стилающей поверхности привело некоторых исследователей (Львович, 1974; 1986) к выделению «объектных звеньев» гидрологического цикла (океаническое звено, литогенное звено, почвенное звено, речное звено, озерное звено и др.). В настоящем разделе рассматривается наземная ветвь гидрологического цикла, которая описывается за многолетний период времени воднобалансовыми уравнениями, где основными компонентами являются атмосферные осадки, сток и испарение.

3.3.2.1. Атмосферные осадки

Атмосферные осадки выпадают на территорию России, главным образом, при прохождении над ее поверхностью атмосферных вихрей — циклонов, зарождающихся над океанами и морями, а также и над территорией суши. Некоторая часть осадков выпадает из испарившейся влаги местного формирования. На процессы выпадения осадков большое влияние оказывает рельеф местности: горы, равнины, хребты, плоскогорья и т. д.

Закономерности распределения осадков по территории обладают спецификой для отдельных регионов России (европейская часть, Урал, Кавказ, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток). Ниже дается описание региональных величин годовых осадков и представлена карта-схема их распределения по территории Российской Федерации. Следует отметить, что карты распределения осадков неоднократно составлялись для территории России, бывшего СССР и в глобальном масштабе (Атлас Мирового водного баланса, 1974; 1976; 1984 и др.). На рис. 3.8 представлена самая последняя карта, составленная сотрудниками ГГО (Климат России, 2001; Энциклопедия климатических ресурсов..., 2005) на основании использования наиболее полных данных наблюдений по 1990 г., когда на территории страны действовало самое большое количество метеостанций.

В настоящей монографии рассматриваются реальные суммы осадков, т. е. с учетом поправок на их ошибки при измерении — на смачивание измерительного сосуда, выдувания из прибора, испарения осадков из сосуда и надувания в него «ложных» осадков.

Европейская часть России и Урал

На севере Европейской территории наибольшее количество осадков выпадает на горный массив

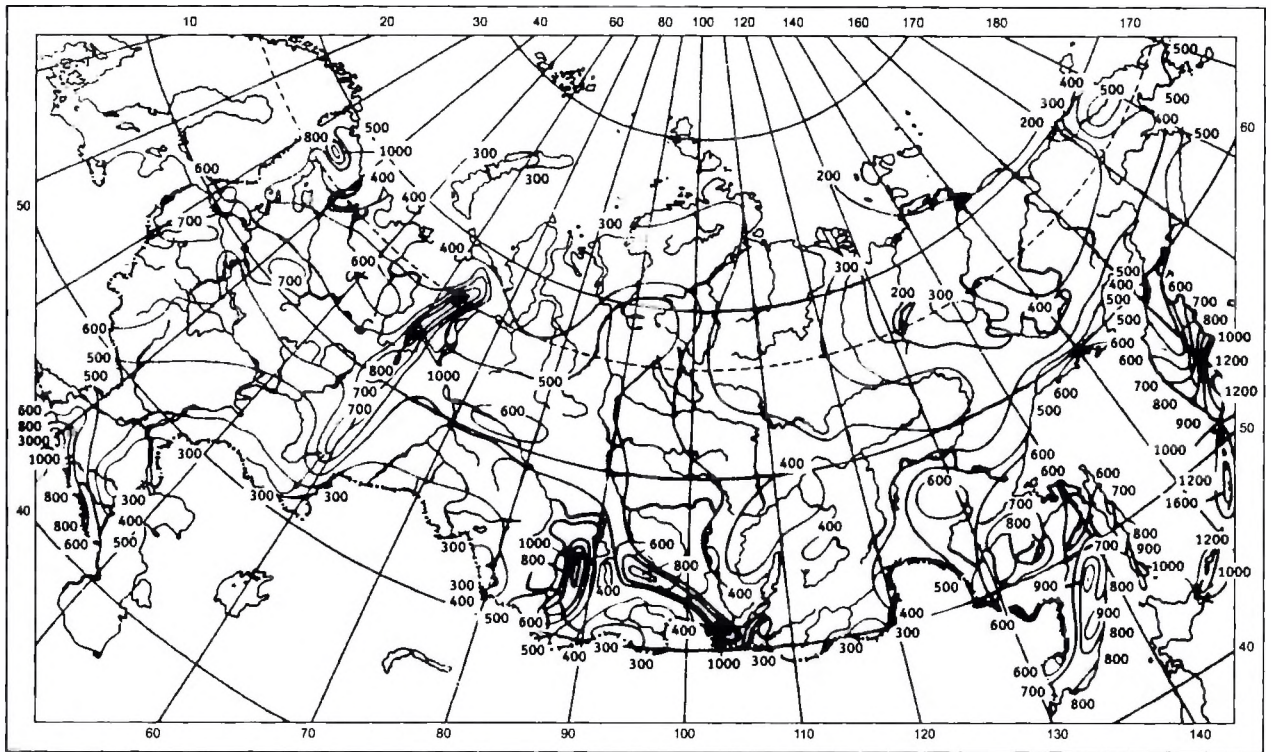


Рис. 3.8. Среднегодовое количество осадков на территории России, мм

Росвумчорр (до 1000 мм). Здесь же, на Кольском полуострове, в Хибинах и Ловозерских горных районах, в Чуне и Монча Тундре осадки превышают 650 мм. Около 800 мм осадков за год выпадает на Коношско-Няндомской возвышенности и перед возвышенностями Карельского и Олонечкого перешейка. В центральных и северных областях полуострова количество осадков убывает с северо-запада и запада (850 мм) на восток и юго-восток (650 мм).

Западная возвышенная часть Русской равнины, в большей степени подверженная влиянию Атлантики, получает значительное количество осадков. Особенно это относится к западным склонам Валдайской возвышенности — 800 мм. Несколько меньше отмечается осадков на остальной части Валдайской возвышенности, на западных склонах Смоленско-Московской и Среднерусской возвышенностей и на возвышенных местах Клинско-Дмитровской гряды — более 700 мм. На западных наветренных склонах осадки увеличиваются в среднем примерно на 14% по сравнению с количеством осадков на равнине. На восточных подветренных склонах происходит уменьшение осадков пример-

но на 23–25% по сравнению с их максимальным количеством на возвышенности. Около 650–700 мм осадков выпадает на остальной (большей) части Средне-Русской возвышенности, а также на западе и в центре Окско-Донской равнины. Только в долинах рек Ока и Хопер и их притоков годовое количество осадков снижается до 630 мм, местами — до 600 мм. Уменьшение осадков имеет место вблизи крупных водоемов, таких, например, как Рыбинское водохранилище, где за год выпадает около 650 мм осадков, тогда как на окружающей территории осадки превышают 700 мм.

По территории Северо-Запада также некоторое перераспределение осадков (увеличение их на наветренных склонах и уменьшение на подветренных) происходит под влиянием возвышенностей. Несколько понижено количество осадков вблизи крупных озер: Ладожского, Ильмень, Чудского (менее 700 мм).

На равнинной части территории количество осадков за год в среднем колеблется в пределах 660–700 мм.

Цепь повышений Приволжская возвышенность — Ергени является определенной климати-

ческой границей, к востоку от которой количество осадков резко уменьшается. Например, на правобережье Волги выпадает около 450 мм осадков, а в Заволжье оно снижается до 350–400 мм за год. Еще меньше осадков выпадает в Калмыцких степях и в районе Нижней Волги: всего 320–350 мм за год. Наибольшее количество осадков выпадает в отрогах Приволжской возвышенности, на севере Волгоградской области — 550 мм за год.

В Поволжье количество осадков убывает по направлению с северо-запада на юго-восток. Наибольшее их количество (600–650 мм в год) выпадает в западных и центральных районах Приволжской и Бугульминско-Белебеевской возвышенностей (650 мм), наименьшее (380 мм) — на юго-востоке Саратовской области. В дельте Волги и на островах Каспийского моря выпадает наименьшее количество осадков — 200–300 мм за год.

Впадины водохранилищ на Волге уменьшают годовую сумму осадков на 10–15%.

На западных склонах Полярного Урала выпадает до 1000 мм.

На западных склонах и вершинах гор Северного Урала годовые суммы осадков достигают 1000 мм и более, но в долинах рек они снижаются до 600–750 мм.

Наибольшее количество осадков получают кряжи, сопки и увалы — 650 мм, а между ними, в широких долинах, осадков выпадает около 580–550 мм.

Сложный и изрезанный рельеф южной части Урала с большим количеством параллельных хребтов и гряд, расчлененных поперечными долинами и низинами, определяет значительные различия в величине годовых сумм осадков, изменяющихся от 400 до 1000 мм.

Непосредственно за Уралом (Челябинская область) годовые суммы осадков снижаются до 400 мм, а на крайнем юге — до 350 мм. Уменьшение осадков под влиянием Уральских гор особенно заметно в предгорьях южного Урала. На Западно-Сибирской равнине выпадает на 100–150 мм осадков меньше, чем на тех же широтах на европейской территории РФ.

На территории европейской части России находятся бассейны довольно больших рек: Волги, Дона, Днепра, Невы, Северной Двины и Печоры. Изучение зон зарождения циклонов и осадков, выпадающих из них в пределах указанных бассейнов, показывает, что генезис этого элемента гидрологического цикла весьма различен (Бабкин, 1999; Бабкин, Постников, 2003). Даже для одного и того же круп-

ного бассейна, например, Волги, одни и те же циклоны в разной степени орошают его частные водосборы: Верхней Волги, Оки, Камы, Средней и Нижней Волги. Применительно к бассейну всей Волги, а также Дона и Днепра, установлено, что выходящие на них циклоны зарождаются в следующих основных зонах: 1) Атлантическая; 2) Средиземноморская; 3) Черноморская; 4) Западно-Европейская; 5) Восточно-Европейская; 6) Северная. При этом основной объем осадков выпадает при прохождении циклонов из трех зон их образования: Атлантической, Западно-Европейской и Восточно-Европейской (Бабкин, Постников и др., 1992; Бабкин, 1995).

В бассейне Дона наибольшее количество осадков в засушливые годы выпадает при прохождении циклонов Средиземноморского и Западно-Европейского происхождения, а во влажные — Атлантического и Восточно-Европейского (Бабкин, 1999; Бабкин, Воробьев и др., 1999.; Бабкин, Постников, 2003).

В бассейне Днепра наибольшее количество осадков в засушливые годы выпадает из Атлантических и Средиземноморских циклонов, а во влажные годы — из Атлантических, Средиземноморских и Черноморских.

В бассейне Невы основное количество осадков как в засушливые, так и во влажные годы выпадает при прохождении циклонов, зародившихся над Атлантикой, Скандинавией и севером Европейской части России.

В бассейне Северной Двины основная часть осадков выпадает при прохождении циклонов, зародившихся в Атлантике, над Скандинавией и севером Европейской части России, а также над морями Северного Ледовитого океана.

В бассейне Печоры наибольшее количество осадков выпадает из циклонов, сформировавшихся над морями Северного Ледовитого океана, Скандинавией, севером европейской части России и над Атлантикой. Доля осадков, выпадающих из циклонов, зарождающихся над остальной частью Европы, а также местного образования в бассейнах рек Невы, Северной Двины и Печоры, невелика (Бабкин, Постников, 1999; Бабкин, Клиге, 2005).

Кавказ

В горной зоне, по оси Большого Кавказа, количество осадков составляет 1200–1500 мм. Наибольшее в этом районе количество осадков выпадает на

северном склоне Большого Кавказского хребта, на Клухорском перевале, окруженном горами (высота 3500–4000 м) — 3000 мм за год. В замкнутой котловине на территории республики Северная Осетия-Алания хорошо прослеживается сезонная смена количества осадков — зимой здесь выпадает сравнительно мало осадков (до 150 мм), а летом — в четыре раза больше. В верховьях р. Терек за год выпадает около 700 мм осадков. Между Скалистым и Главным Кавказским хребтами, в горных долинах и котловинах, особенно в «тени» Скалистого хребта, количество осадков уменьшается. В долине р. Кубань оно составляет 650–700 мм, а на Кубано-Приазовской низменности — 630–650 мм за год.

В циркуляционном отношении высокогорная область Большого Кавказа выражена весьма четко: в приземном слое преобладает восточный перенос, а выше 1500–2000 м — западный. С увеличением высоты, под влиянием которой активизируются фронты, растет также количество осадков.

Зона максимальных осадков находится на высоте около 3000 м. В Дагестане количество осадков в горном районе увеличивается по сравнению с прилегающей равниной только в районе Главного Кавказского хребта. Вдали от него сухо, особенно в долинах. В центральных районах количество осадков колеблется от 300 до 400 мм. В предгорьях Большого и Малого Кавказа количество осадков увеличивается от 700 до 1300 мм. В северной части гор Малого Кавказа на высоте 2000 м за год выпадает более 600 мм, а в южной части — более 700 мм (Швер, 1976; 1984).

Большую роль в орошении Кавказа играют циклоны, зарождающиеся над Черным и Средиземным морями, а также над территорией Малой Азии.

Западная Сибирь

На территории Западно-Сибирской равнины заметно уменьшение осадков от 600 мм на севере до 350–400 мм в Кулундинской степи. На севере низменности, где рельеф понижается в направлении к востоку, в этом же направлении снижается годовое количество осадков, от 600 до 500 мм, а в долинах рек (Тавда, Тура, Ница) — до 450 мм. Большое количество осадков, около 650 мм, выпадает в Васюганье. В районе от Угута до Среднего Васюганья оно увеличивается до 700 мм. Заметно понижены годовые суммы осадков вблизи крупных озер — Чаны (370 мм) и Кулундинское (330 мм). На западе Кулунды годовые суммы осадков не превышают

350 мм. На юге осадки возрастают по направлению к горам Алтая до 450–500 мм, в предгорьях и на западных склонах — до 700 мм. В Кузнецкой котловине они увеличиваются по мере приближения к горам Кузнецкого Алатау.

На западных склонах Кузнецкого Алатау, а также в Горной Шории, выпадает большое годовое количество осадков — до 1000 мм и более.

Большую часть Западной Сибири занимает бассейн р. Обь. На бассейн Оби выпадают осадки из циклонов, зародившихся над континентальной Европой, территориями Казахстана, Средней Азии, Нижнего Поволжья, Кавказа, акваториями Черного и Каспийского морей, над Атлантическим и Северным Ледовитым океанами и морями, входящими в их состав. В этом бассейне образуется большое число местных циклонов. В результате исследований (Бабкин, Постников, 2002; 2003) установлено, что наибольший вклад в годовое количество осадков, выпадающих на водосбор р. Обь, вносят циклоны, зародившиеся над территорией Европы и Западной Сибири. В засушливые годы основную роль играют циклоны Европейского происхождения, а во влажные — местного.

Восточная Сибирь

В Восточной Сибири сохраняется тенденция уменьшения осадков с запада на восток и выделяются области с очень большой сухостью.

Распределение осадков по территории Красноярского края отличается большой пестротой, связанной с влиянием рельефа. Наветренные южные и западные участки даже небольших возвышенностей получают осадков больше, чем закрытые долины и котловины. Западная часть Средне-Сибирского плоскогорья может рассматриваться как переходная зона к сухим континентальным районам Восточной Сибири. За год здесь выпадает 600–700 мм осадков. В долине Енисея, в междуречье Нижней Тунгуски и Ангары до их устья, годовое количество осадков изменяется весьма существенно — от 500 до 1000 мм. Менее 400 мм осадков получает Минусинская котловина, со всех сторон окруженная высокими горами, создающими на фоне общей циркуляции атмосферы местный фенный эффект.

Тувинская котловина, находящаяся под воздействием иссушающих горных ветров, получает мало осадков. Ландшафт здесь преобладает пустынно-степной. Большой сухостью отличаются Хемчик-

ская и Убсунурская котловины — несколько выше 200 мм осадков за год.

Контрасты годового количества осадков на территории Прибайкалья связаны, в основном, с рельефом местности. Между долиной р. Лена на севере и оз. Байкал на юге расположена целая система хребтов и нагорий. На западных наветренных склонах хребтов, таких как Приморский, Байкальский, Хамар-Дабан, и в предгорьях Восточного Саяна осадков выпадает за год в два-три раза больше, чем на подветренных склонах.

Наибольшее количество осадков выпадает на склонах Хамар-Дабан, обращенных к юго-западной части оз. Байкал (до 1000 мм и более).

На оз. Байкал и его побережье, в связи с расположением озера в глубокой котловине, количество осадков невелико: на острове Ольхон сумма осадков равна 240 мм в год. Столь же засушливым является и западное побережье озера. Много осадков выпадает на южном побережье (свыше 1000 мм). В предгорьях Восточного Саяна годовая сумма осадков составляет 600–800 мм.

Во внутренних районах Забайкалья, защищенных горными хребтами (Витимское плоскогорье) количество осадков за год изменяется от 350 до 400 мм.

Бассейн р. Енисей занимает большую часть Восточной Сибири. На бассейн выпадают осадки из циклонов, зародившихся в Восточной Сибири, Западной Сибири, а также в Атлантике, над Европой и на юге, за пределами этого водосбора.

В результате исследований (Бабкин, Постников, 2002) установлено, что примерно 65% осадков в бассейне Енисея выпадает из циклонов, зародившихся над территориями Восточной Сибири и Западной Сибири, а 35% — над акваторией Атлантического океана, Европой и в южной зоне их образования. В засушливые годы доля осадков, выпадающих из циклонов местного образования, достигает 50%, а во влажные годы снижается до 30%. Однако во влажные годы заметно возрастает доля западно-сибирских и южных циклонов в увлажнении рассматриваемой территории (Бабкин, Постников, 2002).

Северо-Восток Сибири и Дальний Восток

На западе Якутии, ограниченной левым берегом р. Лена, осадки убывают с севера на юг и с запада на восток, но их изменение по территории невелико — от 300 до 400 мм. Мощные горные цепи Вер-

хоянского хребта, ориентированные в меридиональном направлении, переходящем в широтное в устье р. Алдан при его слиянии с Леной, резко нарушают эту закономерность. Много осадков для указанной территории выпадает на Алданском нагорье (около 700 мм). На северо-востоке Якутии, на наветренных склонах Верхоянского хребта, выпадает до 800 мм осадков за год. За хребтом, на подветренной его части, в Янской межгорной впадине, в районе Верхоянска, выпадает всего 200 мм осадков за год.

Наименьшее годовое количество осадков характерно также для островов и побережий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского — 220–250 мм.

Большое количество осадков (1000 мм и более) выпадает на наветренных склонах Станового нагорья и других хребтов, ориентированных на запад или северо-запад.

На побережье Восточно-Сибирского моря количество осадков не превышает 250 мм в год. На остальной территории выпадает 300–400 мм и более осадков за год. Почти 800 мм осадков выпадает в горных районах Амурской области, на юге Хабаровского края и на восточных склонах Буреинского хребта.

В Приморском крае наиболее увлажнены западное побережье Японского моря, особенно от бухты Ольга до мыса Золотой (900 мм, местами — больше), и западные склоны Сихотэ-Алиня (900 мм и более), что объясняется выходом во второй половине лета юго-западных циклонов и тайфунов. В направлении к западным районам Приханкайской равнины осадки снижаются до 750 мм. Внутри же центральной части Сихотэ-Алиня, в закрытых долинах и котловинах, количество осадков уменьшается на 150–200 мм по отношению к открытым вершинам и склонам.

На Камчатке годовое количество осадков убывает с юго-востока (район Паужетских ключей — свыше 1200 мм) на северо-запад (до 500 мм). На южной оконечности Камчатки и юго-восточном побережье (Отрож, бухта) и открытых мысах (Озерный, Африка и др.) выпадает свыше 1000 мм осадков за год. Сравнительно много осадков выпадает на острове Медном (более 1400 мм). Между Срединным и Восточным хребтами, в центральной части долины р. Камчатка, а также на севере Корякского округа, в долине р. Пенжина, годовое количество осадков невелико — 600 мм. На острове Сахалин количество осадков уменьшается с юга (более 1000 мм) на север и к долине р. Поронай

(700 мм). На Курильских островах оно повсеместно превышает 1000 мм.

Больше 30% территории северо-востока Сибири и Дальнего Востока занимает бассейн величайшей реки мира — Лены. Этот бассейн орошается атмосферными осадками, выпадающими при прохождении циклонов, образовавшихся как над исследуемым водосбором, так и за его пределами: на западе, юге и над поверхностью океанов и морей.

В результате исследований (Бабкин, Постников, 2004) установлено, что как в засушливые, так и во влажные годы основная сумма осадков (более 70%) выпадает из циклонов местного происхождения. Доля осадков, выпадающих из циклонов, поступивших на эту территорию с запада, превышает 15%. Количество осадков, выпадающих из циклонов, приходящих с юга и со стороны океанов, не превышает 3–7%.

3.3.2.2. Испарение

Испарение с поверхности суши формируется под непосредственным воздействием климатических факторов, определяющих условия увлажнения и тепловой режим в пределах территорий речных бассейнов, экономических районов и субъектов Российской Федерации.

Большие различия в ресурсах тепла и влаги и их взаимосвязей на территории России являются причиной существенных различий в значениях испарения и его внутригодовом распределении.

Годовая сумма испарения является исключительно многофакторным и наименее изменчивым явлением. Она распределена по территории Российской Федерации, как это следует из карты (рис. 3.9), зонально.

Арктическая зона характеризуется значениями испарения порядка 100–150 мм. Фактически на островах Северного Ледовитого океана, севернее 74° с. ш., и на севере полуострова Таймыр испарение составляет менее 100 мм/год. Испарение с поверхности остальных природных зон рассмотрим отдельно для равнинной и горной территорий.

Равнинная местность

В пределах тундровой зоны равнинной части Европейской России (Канинско-Печорский район; речные бассейны Сулы, Колвы, Адызвы и др.) испарение колеблется в пределах от 150 до 200 мм и в отдельных местах даже до 250 мм.

В пределах равнинной части лесной зоны Европейской территории России испарение колеблется от 300 мм до 550 мм, Западной Сибири — от 250 до 450 мм, Средней Сибири — от 200 до 350 мм.

Равнинные реки степной зоны Европейской территории России характеризуются высоким значением испарения, достигающим 500–600 мм, Западной Сибири — от 350 до 450 мм, Средней Сибири — от 200 до 300 мм в среднем за год.

С поверхности бассейнов равнинных рек полупустынной зоны Европейской территории России испаряется 250 мм влаги и более.

Горные районы

В пределах Урала находятся горно-тундровая и горно-лесная зоны. Испарение с поверхности речных бассейнов горно-тундровой зоны колеблется в пределах 250–300 мм. В горно-лесной зоне испарение изменяется от 300 до 400 мм.

С поверхности речных бассейнов горно-арктической зоны Кавказского высокогорного района испаряется за год примерно 100–200 мм. С поверхности речных бассейнов горно-лесной зоны Кавказа, расположенных в пределах северо-западного, юго-западного и юго-восточного склонов Большого Кавказа, за год испаряется примерно 200–400 мм влаги.

Реки, протекающие в пределах горно-лесной, лесной, горно-степной, степной и полупустынной зон Причерноморской и Прикаспийской паводочных областей, характеризуются значениями испарения, колеблющимися от 300 до 600 мм, а на побережье Чёрного моря испаряется более 900 мм.

В пределах Алтая и Саян выделяются горно-арктическая, горно-лесная и горно-степная зоны. С поверхности речных бассейнов горно-арктической зоны испарение составляет около 100–150 мм, в бассейнах горно-лесной зоны — около 150–300 мм в год.

В пределах Тувинского района горно-степной зоны с поверхности суши испаряется около 100–150 мм влаги в год. С поверхности суши горно-лесной зоны Забайкалья и горно-степной зоны — от 150 до 300 мм влаги в год.

С поверхности речных бассейнов горно-полупустынной зоны Ононо-Аргунского района испаряется за год около 200–300 мм. С поверхности Приамурья, Приморья и острова Сахалин в пределах горно-лесной и лесной зон горных территорий — в среднем от 100 до 400–450 и даже 500 мм

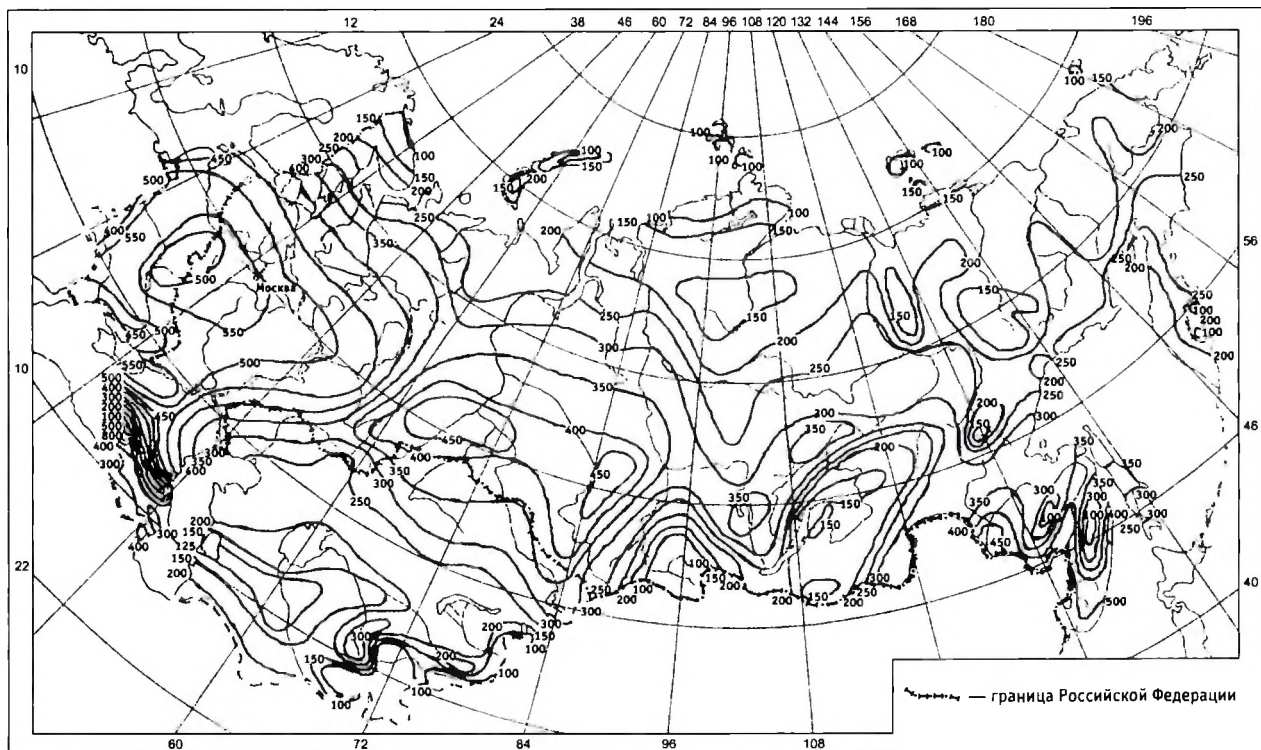


Рис. 3.9. Среднегодовое испарение с суши для территории РФ и стран бывшего СССР, мм

влаги в год и более. В речных бассейнах горно-тундровой и лесной зоны Путорана испарение составляет около 150–200 мм.

Обширная территория горной области северо-востока России подразделяется на горно-арктическую, горно-тундровую и горно-лесную зоны. В пределах указанных зон испарение колеблется от 100 до 250 мм. В тех же пределах изменяется испарение в речных бассейнах горной Камчатки, где выделяются горно-арктическая, горно-лесная и лесная зоны.

Таким образом, распределение испарения по территории Российской Федерации в целом за средний многолетний период носит зональный характер: на равнинной части — в соответствии с широтой местности, в горах — в соответствии с высотной зональностью. Наименьшие годовые суммы испарения характерны для арктической, горно-арктической и пустынной зон и составляют около 100–150 мм. При этом, если для арктической и горно-арктической зон малая сумма испарения вызвана отсутствием необходимого количества тепла на осуществление фазового перехода лед — снег — вода — пар, то для пустынной зоны — наоборот — отсут-

ствием необходимого увлажнения. Наибольшие суммы испарения в европейской части России характерны для лесной и лесостепной зон — около 450–550 мм и более.

Характерной закономерностью распределения испарения по территории Российской Федерации является повышенное его значение на западных склонах многих возвышенностей, перехватывающих атлантическую влагу (Среднерусская возвышенность, Приволжская возвышенность и др.), по сравнению с восточными склонами.

В целом для территории Российской Федерации суммарное испарение составляет около 56% от суммы атмосферных осадков. Таким образом, большая часть атмосферных осадков, выпадающих на территорию России, расходуется на испарение, а меньшая часть — 44% — формирует ресурсы речного стока.

3.3.2.3. Речной сток

Наряду с испарением сток является основным элементом расходной части уравнения водного баланса. Формирование речного стока происходит

одновременно с потерями выпавших осадков и имеющихся запасов влаги на поверхности речного бассейна и в его почво-грунтах на испарение. Протекающие одновременно процессы стока и испарения в различные интервалы времени имеют разную интенсивность. Эти процессы являются интегральными характеристиками водообмена территории страны со смежными территориями и с окружающими ее морями.

Средняя величина местного стока для всей территории России составляет 241 мм. На северном склоне Главного Кавказского хребта, в бассейне р. Терек (р. Баксан) средний сток достигает 1670 мм. Такого же порядка наблюдается сток в бассейнах отдельных рек Горного Алтая. Наименьшая величина стока имеет место в равнинной части Прикаспийской низменности. Здесь могут быть места со значениями стока 2–5 мм и даже близкими к нулевым.

Основные закономерности распределения

Распределение среднего годового стока по территории Российской Федерации показано на карте стока (рис. 3.10). В пределах европейской части России величины стока отклоняются от широтно-

го расположения и в направлении с северо-запада на юго-восток находятся в соответствии с уменьшением осадков от побережья Балтийского моря к районам Прикаспийской низменности. В Западной Сибири в основном наблюдается широтное изменение стока, а в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке — в соответствии с горным рельефом и распределением осадков. Рельеф, а именно расположение отдельных возвышенностей, горных хребтов, плоскогорий по отношению к приходящим воздушным массам, вносит существенные изменения в распределение стока. Подобно осадкам, величины стока отражают изменения рельефа. К более повышенным местам приурочены более высокие значения стока, к низинам — пониженные его значения. В отдельных районах зоны многолетней мерзлоты изменения стока не соответствуют распределению осадков. Это связано с тем, что, помимо осадков, конденсация влаги на поверхности мерзлого грунта способствует его увеличению (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987; Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации, 2005).

Несоответствие стока и осадков имеет место также в горных районах, где оно объясняется неточно-

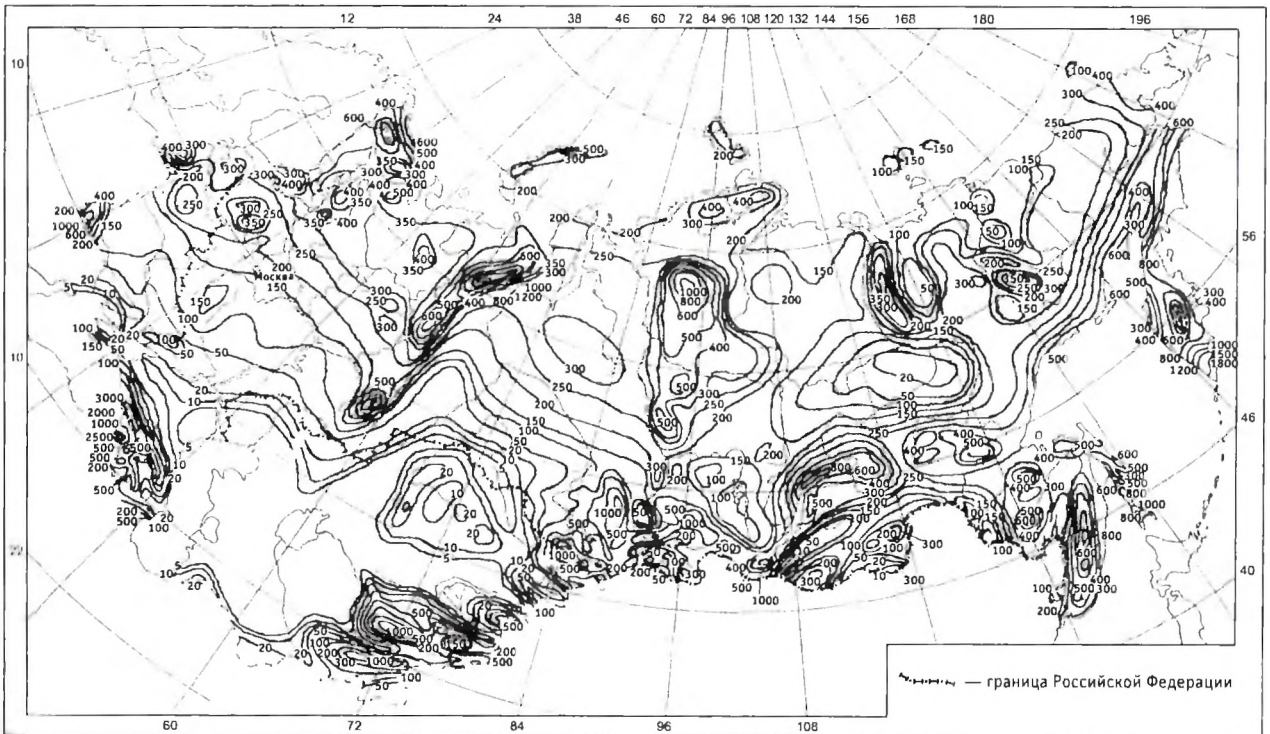


Рис. 3.10. Среднегодовой сток с территорий РФ и стран бывшего СССР, мм

стью измерения осадков и недостаточно густой сетью осадкомерных пунктов. В отдельные годы превышение стока над осадками зависит от интенсивности таяния ледников и высокогорных снегов.

Распределение среднего стока в пределах России характеризуется наличием глубокого минимума, проходящего через ее территорию. Началом зоны пониженного стока являются степные районы юга Причерноморской низменности и Приазовья; здесь средний сток, как правило, не превышает 15 мм. Восточнее зона минимального стока проходит через Прикаспийскую низменность, где его значения уменьшаются до 6–3 мм. Зона минимального стока проходит также в Западно-Сибирской лесостепи. Здесь средний сток составляет 60–130 мм. В южной части Средне-Сибирского плоскогорья сток уменьшается до 30–65 мм. Далее полоса пониженных значений стока достигает Центрально-Якутской низменности. Здесь средний сток местами составляет менее 15 мм (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987).

В основном зона пониженного стока расположена в пределах степи, полупустыни и пустыни. Лишь частично, в пределах Средне-Сибирского плоскогорья и Якутии, она расположена в лесостепи и в тайге.

В европейской части и Западной Сибири повышенные значения стока объясняются обычным увеличением осадков на горных склонах. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке повышенные значения стока вызываются проникновением с юго-востока влажного тихоокеанского воздуха. К северу от зоны повышенного увлажнения территории годовой сток постепенно увеличивается вследствие более повышенного влагосодержания воздушных масс и уменьшения испарения.

Значительные величины стока наблюдаются в тундровой зоне. В пределах европейской части России область повышенных значений стока, 315–380 мм, проходит вдали от побережий Белого и Баренцева морей, пересекает Уральский хребет, где значения среднего стока достигают 760–790 мм. Далее область повышенного стока проходит через низовья Оби, плато Путорана, в пределах которых сток увеличивается до 790 мм, пересекает бассейны Хатанги, Анабара, Оленёка, низовья Лены, где средние значения стока составляют 250–315 мм, и проходит по Верхоянскому хребту, Анадырскому плоскогорью и Анадырскому хребту. В горных районах Восточной Сибири полоса повышенных значений стока недостаточно выражена, средняя величина

стока здесь составляет 190–280 мм, увеличиваясь в наиболее высоких местах до 315–440 мм (верховья р. Колыма).

К северу от полосы повышенных значений стока его значения постепенно уменьшаются вследствие замены влажного атлантического воздуха относительно сухим — арктическим. Однако уменьшение стока в северном направлении невелико, так как одновременно с осадками уменьшается и испарение. Как на материке, так и на островах средний сток уменьшается с запада на восток. Так, например, на острове Колгуев средний сток составляет 250 мм, на острове Северная Земля — 125 мм, на Новосибирских островах — 95 мм, а на острове Врангеля — 65 мм.

На фоне общего зонального распределения стока на территории России в отдельных местах наблюдаются повышенные и пониженные значения стока. Особенно явно это выражено в пределах Европейской части нашей страны. Азональные пятна стока связаны со многими факторами, в частности с рельефом местности.

3.3.3. Генезис и состав вод крупнейших речных бассейнов

Атмосферная и наземная компоненты Большого гидрологического цикла взаимосвязаны. Атмосферная компонента характеризует перенос воздушных масс и выпадение атмосферных осадков. Поэтому она оказывает непосредственно влияние на многие процессы наземной компоненты: испарение, сток, инфильтрацию и т. д.

Для гидрологического обеспечения социально-экономического развития особое значение приобретает решение комплекса задач, связанных с изучением динамики пресных водных ресурсов, появлением периодов различной водности, наличием синхронности и асинхронности в рядах стока, с разработкой надежных методов гидрологических расчетов и прогнозов.

Решение указанных и других задач так или иначе связано с выявлением генезиса и состава речных вод. Под генезисом вод понимается происхождение их от атмосферных осадков, выпадающих при прохождении атмосферных вихрей — циклонов, зарождающихся в различных регионах, а под составом вод — процентное соотношение объемов стока, обусловленных циклоническими осадками разных зон зарождения.

Ниже рассматриваются генезис и состав вод крупнейших речных бассейнов России.

Бассейны европейской части

Самая большая по площади бассейна ($F = 1\,377\,000 \text{ км}^2$) и водоносности ($260 \text{ км}^3/\text{год}$) река на Русской равнине — Волга. Бассейн этой реки состоит из четырех частных водосборов: Верхняя Волга, Ока, Кама, Средняя и Нижняя Волга.

Для исследования генезиса и состава вод указанных водосборов, а также бассейнов других рек европейской России: Дона, Днепра, Невы, Северной Двины и Печоры, расположенных в пределах Русской равнины, был проведен анализ более 5000 циклонов, вышедших на ее территорию или зародившихся в ее пределах. Атмосферные осадки, выпавшие при прохождении циклонов над указанными бассейнами, были дифференцированы по зонам зарождения. При изучении генезиса и состава речных вод бассейнов Волги, Дона и Днепра все циклоны были подразделены на следующие шесть зон зарождения: атлантическая, средиземноморская, черноморская, западно-европейская, восточно-европейская, северная.

В табл. 3.13 приводятся данные по стоку бассейна р. Волга и его частных водосборов, сформированному атмосферными осадками, выпавшими при прохождении циклонов, зародившихся в шести указанных зонах. Исследования были проведены для двух расчетных десятилетних периодов: маловодного (1966—1975 гг.) и многоводного (1976—1985 гг.) (Бабкин, Постников и др., 1992; Бабкин, 1995).

Из этой таблицы следует, что в маловодный период наибольшие значения стока в рассматриваемом бассейне формировались при выпадении атмосферных осадков при прохождении циклонов, зародившихся в пределах Восточной Европы.

Атлантические циклоны, обусловившие выпадение осадков в отдельных бассейнах Волги, для всего бассейна по водности занимают лишь третье место. При смене маловодного периода на многоводный произошло существенное увеличение водности атлантических циклонов.

В маловодный период атлантические циклоны зарождались преимущественно на широте Исландии и севернее этого острова, а в многоводный циклогенез происходил южнее и юго-западнее Исландии, над более теплыми водами, ближе к берегам Северной Америки. В первое десятилетие циклоны чаще уходили над Норвежским морем на север, а путь циклонов, попавших на Русскую равнину, проходил в основном через Скандинавию и не в полной мере захватывал бассейн Волги. Во второе десятилетие их путь на континент чаще проходил через Великобританию и Северное море и затем через северную часть Волжского бассейна.

Из таблицы видно, что в многоводный период атлантические циклоны способствовали увеличению стока Волги на 31 мм. Таким образом, общее изменение стока Волги при сравнении маловодного и многоводного периодов, равное 39 мм, увеличилось за счет атлантических циклонов на 80%. В результате аналогичных исследований остальных крупнейших бассейнов Русской равнины получено, что колебания стока Днепра на 30, Дона — на 38%, Невы — на 40%, Северной Двины — на 34% и Печоры — на 25% обусловлены изменениями путей и объемов циклонических осадков атлантического происхождения (табл. 3.13—3.15) (Бабкин, Постников, 1999; Бабкин, 1999; Бабкин, Постников, 2003).

Бассейны Сибири

Сток Оби и Енисея формируется при значительном участии воздушных потоков, возникающих в

Таблица 3.13

Сток в бассейне Волги, сформированный циклоническими осадками в маловодный (числитель) и в многоводный (знаменатель) периоды

Зона зарождения циклонов	Верхняя Волга		Ока		Кама		Средняя и Нижняя Волга		Волга в целом	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Атлантическая	58/84	30/35	24/59	17/33	23/58	10/23	17/42	20/31	27/58	16/29
Средиземноморская	13/12	7/5	16/14	11/8	14/15	6/6	3/12	4/9	11/13	7/6
Черноморская	8/12	4/5	18/14	13/8	16/18	7/7	6/14	7/10	12/16	7/8
Западно-европейская	71/74	37/31	54/55	38/31	54/45	23/18	25/30	29/22	49/47	29/24
Восточно-европейская	36/48	19/20	29/32	20/18	112/103	48/41	29/34	34/25	61/61	37/30
Северная	4/10	2/4	2/5	1/3	14/10	6/4	4/4	5/3	7/7	4/3

Сток Дона (числитель) и Днепра (знаменатель), сформированный циклоническими осадками за маловодный (1966–1975 гг.) и многоводный (1976–1985 гг.) периоды

Зоны зарождения циклонов	1966–1975 гг.		1976–1985 гг.		Изменение стока	
	мм	%	мм	%	мм	%
Атлантическая	7/36	14/37	15/48	21/35	8/12	38/30
Средиземноморская	12/25	24/36	13/35	18/25	1/10	5/25
Черноморская	8/13	16/13	9/23	13/17	1/10	5/25
Западно-европейская	13/15	26/16	17/16	24/12	4/1	19/3
Восточно-европейская	9/8	19/8	16/14	23/10	7/6	33/15
Северная	1/0	2/0	1/1	1/1	0/1	0/2

Таблица 3.15

Сток северных рек Восточной Европы, сформированный различными циклоническими и местными осадками в маловодный (числитель) и многоводный (знаменатель) периоды и его общие изменения (числитель в мм, знаменатель в %)

Зона зарождения циклонов	Нева		Северная Двина		Печора	
	по периодам	общие изменения	по периодам	общие изменения	по периодам	общие изменения
Атлантическая	103/124	21/39,6	90/100	10/34,5	89/122	33/25,4
Северный Ледовитый океан	44/53	9/17	58/63	5/17,3	102/141	39/30
Скандинавия и север ЕТР	63/76	13/24,5	72/80	8/27,5	95/131	36/27,6
Остальная Европа	38/45	7/13,2	34/38	4/13,8	39/53	14/10,8
Местные осадки	12/15	3/5,7	13/15	2/6,9	20/28	8/6,2

результате обмена энергии между громадным накопителем тепла — Мировым океаном — и атмосферой, а также Мировым океаном и сушей при активном влиянии Арктики и под воздействием самого большого в мире Евразийского континента.

Основная роль в увлажнении бассейнов Оби и Енисея принадлежит циклоническим осадкам. Для изучения генезиса стока и атмосферных осадков, обуславливающих появление разной водности на рассматриваемых реках, особую актуальность имеют исследования траекторий циклонов, наблюдавшихся над рассматриваемыми бассейнами в маловодные и многоводные годы. В результате были выявлены зоны зарождения и изучены траектории движения всех циклонов, при прохождении которых над Западной и Восточной Сибирью выпадали атмосферные осадки.

Над бассейном Оби выпадают осадки из циклонов, зародившихся над континентальной Европой (европейская зона), территориями Казахстана, Средней Азии, Нижнего Поволжья, Кавказа и акваториями Чёрного и Каспийского морей (Южная зона), над Атлантическим и Северным Ледовитым океанами и морями, входящими в их состав (атлантическая зона). Вместе с тем в бассейне р. Оби образуется большое число местных циклонов (западно-сибирская зона).

Над бассейном Енисея выпадают осадки при прохождении над ним циклонов, зародившихся в указанных зонах, а также образовавшихся в пределах его бассейна (восточно-сибирская зона). В верховья притоков Верхнего Енисея смещаются циклоны, зародившиеся над Монголией и Китаем.

В многоводные годы, по сравнению с маловодными, большая часть циклонов образуется над территорией Западной Сибири и уменьшается количество циклонов, достигающих бассейна Оби из других зон зарождения. Территория Западной Сибири расположена вдали от Атлантического океана и его морей, поэтому атлантические циклоны сюда доходят редко (Бабкин, Постников, 2002).

Серьезной преградой на пути циклонов, образовавшихся над акваториями относительно теплых морей (Норвежское и Баренцево), являются Уральские горы. Они задерживают эти циклоны, и переносимая ими влага конденсируется и выпадает в виде осадков в бассейне р. Печоры (Бабкин, Постников, 1999). Циклоны же, образующиеся над холодным Карским морем, немногочисленны, а влагосодержание переносимых ими воздушных масс мало.

Таким образом, ведущая роль в увлажнении Западной Сибири принадлежит западно-сибирским (местным) и европейским циклонам. Местный ци-

клоногенез происходит весьма активно вследствие того, что с севера эта огромная плоская территория открыта для вторжений холодного арктического воздуха, который, взаимодействуя с более теплыми воздушными массами, создает динамичные фронтальные зоны, обуславливающие зарождение циклонов (Бабкин, Постников, 2002).

Чем чаще и интенсивнее будут эти вторжения, тем больше циклонов будет зарождаться в бассейне р. Обь. Очевидно, что развитие меридиональных форм циркуляции способствует увлажнению этого бассейна.

В результате исследований были определены доли вкладов циклонов каждой зоны их зарождения в изменение водности р. Обь в целом, а также двух частных водосборов (Верхняя и Средняя Обь, Иртыш). В качестве маловодного года был выбран 1982 г. Сток р. Обь в этот год был равен 129 мм, или всего 78% от нормы. В качестве года с повышенной водностью был принят 1984 г., когда сток реки составил 178 мм, или 108% от нормы, т. е. разность стока за эти 2 года составила 49 мм. Вклад осадков, обусловленных циклонами из какой-либо зоны их зарождения, в формирование стока Оби определялся с использованием месячных данных по элементам водных балансов этого бассейна за 1970–1984 гг. (Бабкин, Бочков, 1974; Бабкин, Воробьев, Смирнов, 2004).

В табл. 3.16 представлены данные о формировании стока всего бассейна Оби в маловодный и многоводный годы под влиянием осадков, выпадающих из циклонов разных зон зарождения (Бабкин, Постников, 2002). Хотя полученные результаты являются довольно приближенными, тем не менее они убедительно свидетельствуют о том, что изменение водности Оби определяется, в первую очередь, уровнем активности местного циклоногенеза.

Таблица 3.16

Сток Оби в маловодный и многоводный годы, обусловленный выпадением осадков из циклонов разных зон зарождения

Зона зарождения циклонов	Сток					
	маловодный год (1982)		многоводный год (1984)		разность	
	мм	%	мм	%	мм	%
Западно-сибирская (местная)	35	27	96	54	61	84
Южная	21	16	16	9	-5	7
Атлантическая	19	15	18	10	-1	1
Европейская	54	42	48	27	-6	8
Всего	129	100	178	100	49	100

Бассейн Енисея значительно отличается от бассейна Оби по процессам атмосферной циркуляции. Если на территорию бассейна Оби часто и беспрепятственно вторгаются арктические воздушные массы, то в бассейне Енисея серьезной преградой для таких вторжений являются горные массивы Средне-Сибирского плоскогорья. Здесь арктический воздух растекается в разных направлениях, следуя рельефу этого горного региона, поэтому образование фронтальных циклонов затруднено. Вместе с тем наблюдаются благоприятные условия для образования термических циклонов, так как нагрев горных склонов, в большинстве своем лишенных увлажненного почвенного покрова, способствует интенсивному развитию восходящих движений воздуха (Бабкин, Постников, 2002). Такой циклоногенез происходит в частных бассейнах Енисея: Нижней Тунгуски, Подкаменной Тунгуски и Ангара.

Значительное влияние на увлажнение бассейна Енисея оказывают атмосферные процессы, происходящие в бассейне соседней Оби. Часть циклонов, образовавшихся в бассейне Оби, смещается на территорию бассейна Енисея, что способствует выпадению на его водосбор атмосферных осадков. Обычно вторжения этих циклонов происходят в бассейны Нижней Ангара, Нижней и Подкаменной Тунгуски.

Для бассейна Енисея, так же как и для бассейна Оби, были оценены доли вкладов атмосферных осадков, выпавших из циклонов каждой зоны их зарождения, в изменение водности рассматриваемой реки. При этом весь бассейн Енисея был подразделен на три частных водосбора: Верхний Енисей, Ангара, Нижняя Тунгуска.

В качестве года с пониженной водностью, как и на Оби, был выбран 1982 г., когда сток Енисея составлял 237 мм, т. е. он был ниже нормы на 3%. В многоводный 1983 г. сток Енисея равнялся 288 мм (выше нормы на 18%). Результаты расчетов составляющих стока, обусловленных выпадением осадков из циклонов разных зон зарождения, для всего бассейна Енисея приведены в табл. 3.17.

На Оби 1983 г. был также многоводным. В такой год должны наблюдаться частые вторжения арктического воздуха на территорию Западно-Сибирской низменности, что приводит к образованию здесь фронтальных циклонов. В зависимости от глубины проникновения в южном направлении, эти вторжения могут обуславливать возникновение как местных (западно-сибирских), так и южных цикло-

Таблица 3.17

Сток Енисея в маловодный и многоводный годы, обусловленный выпадением осадков из циклонов разных зон зарождения

Зона зарождения циклонов	Сток					
	маловодный год (1982)		многоводный год (1983)		изменения стока	
	мм	%	мм	%	мм	%
Восточно-сибирская	118	50	104	36	-14	15
Западно-сибирская	45	19	81	28	36	39
Южная	8	3	40	14	32	35
Атлантическая	19	8	23	8	4	4
Европейская	47	20	40	14	-7	8
Итого	237	100	288	100	51	100

нов, которые, продвигаясь затем в северо-восточном направлении, смещаются в бассейн Енисея, увлажняя его и увеличивая там облачность. Оба этих фактора способствуют уменьшению прогрева верхних слоев почво-грунтов в бассейне Енисея, что приводит к снижению интенсивности восходящих движений воздуха здесь, а следовательно, и к снижению интенсивности образования местных (восточно-сибирских) термических циклонов.

Из таблицы следует, что вклад восточносибирских (местных) циклонов в формирование стока Енисея наибольший по сравнению с циклонами других зон зарождения. Таким образом, уровень развития меридиональных форм циркуляции атмосферы в значительной мере определяет на территории Западной Сибири изменения водности крупнейших сибирских рек, Оби и Енисея, а также и синхронность этих изменений.

Бассейн Лены характеризуется большой удаленностью от источников увлажнения со стороны Атлантического океана и ограждением его горными хребтами от Тихого океана. В то же время с севера в рассматриваемый бассейн происходит относительно свободное вторжение арктического воздуха.

Здесь господствующие арктические воздушные массы трансформируются в континентальный воздух, так как по условиям общей циркуляции атмосферы сюда фактически, за исключением низовьев Лены (устья и дельты), не проникают воздушные массы из Атлантики и Тихого океана.

Проведенный за ряд лет анализ данных по циклонической деятельности над рассматриваемым бассейном позволил выявить четыре зоны зарождения циклонов: Местная (бассейн Лены), Южная,

Западная и Океаническая, при прохождении которых выпадают осадки.

Местная зона включает в себя циклоны, зародившиеся над территорией бассейна Лены и в непосредственной близости от его границ. К Южной зоне отнесены циклоны, зародившиеся над территориями Китая, Монголии, Средней Азии, Казахстана и Каспийского моря. Все циклоны, образовавшиеся над Евразийским континентом западнее водораздельной линии, проходящей между бассейнами Лены и Енисея, отнесены к Западной зоне их зарождения. К Океанической зоне отнесены весьма немногочисленные циклоны, образовавшиеся над акваториями Атлантического, Северного Ледовитого и Тихого океанов и морями, входящими в их состав. При прохождении этих циклонов также выпадают осадки в бассейне Лены.

Исследования циклогенеза были проведены с 1982 по 1985 г., в том числе детальные за 1983 г. (многоводный, 239 мм, или 112% от нормы) и 1985 г. (маловодный, 186 мм, или 87% от нормы). Исследования проведены для четырех частных водосборов Лены (Верхняя Лена и Витим, Алдан, Вилюй, Нижняя Лена), а также для всего бассейна. В результате исследований установлено, что в целом для бассейна количество циклонов Местной зоны зарождения составляет около 60%, Западной — 25%, Южной и Океанической зон зарождения — примерно 15% от общего числа циклонов, при прохождении которых в бассейне Лены выпадали осадки.

Вклад осадков, обусловленных циклонами из какой-либо зоны их зарождения, в формирование стока Лены определялся с использованием данных по элементам водных балансов этого бассейна, рассчитанных в системе Госкомгидромета за 1970—1982 гг. (Андреянов, Бабкин, Бочков, 1974; Бабкин, Бочков, 1974).

Полученные результаты представлены в табл. 3.18 в целом для бассейна Лены в маловодный и многоводный годы.

Анализ данных таблицы 3.18 показывает, что изменение водности Лены определяется, в первую очередь, степенью активности местного циклогенеза, который является основным фактором колебаний водности этой реки: изменение водности реки почти на 80% определяется изменением количества осадков, обусловленных циклонами местной зоны зарождения, причем это имеет место как в маловодные, так и многоводные годы.

При анализе данных о циклонах в частных бассейнах Лены прослеживается закономерность,

Таблица 3.18

Сток Лены в маловодный и многоводный годы, обусловленный выпадением осадков из циклонов разных зон зарождения

Зона зарождения циклонов	Сток					
	маловодный 1985 г.		многоводный 1983 г.		изменения стока	
	мм	%	мм	%	мм	%
Местная	134	72	186	78	52	80
Южная	13	7	7	3	-6	9
Западная	33	18	18	15	3	5
Океаническая	6	3	3	4	4	6
Итого	186	100	239	100	53	100

обусловленная географическим положением этих территорий. Так, например, в бассейне Алдана доля циклонов Местного зарождения особенно высока, доля циклонов Западной зоны зарождения минимальна, а доля циклонов Южной зоны их образования повышена по сравнению с другими частными бассейнами. Это обстоятельство объясняется тем, что через бассейн Алдана проходят траектории циклонов, выходящих с территорий Китая и Монголии. На территории бассейна Нижней Лены, по сравнению с другими бассейнами, увеличивается доля циклонов океанической зоны зарождения. Сюда заходят, хотя и в небольшом количестве, циклоны, образовавшиеся над акваториями практически всех морей Северного Ледовитого океана, а также очень редкие атлантические и тихоокеанские циклоны, в том числе образовавшиеся над акваторией и побережьем Охотского моря. Обращает на себя внимание тот факт, что указанные выше соотношения между циклонами различных зон зарождения, из которых выпадают осадки в бассейне Лены, остаются практически одними и теми же как в маловодные, так и в многоводные годы.

Таким образом, в отличие от европейских рек России, состав вод крупнейших Сибирских рек (Оби, Енисея и Лены) в значительной степени определяется осадками от циклонов, зарождающихся и формирующихся на территории их бассейнов: для р. Обь это происходит в основном в многоводные годы, а для Енисея и Лены — независимо от водности. Это объясняется огромной территорией их бассейнов, особенностями рельефа и атмосферной циркуляции в различных частях Сибири. Изменение состава вод указанных речных систем, сформированных осадками различного происхождения, и значительной мере обуславливает степень взаи-

мосвязи (синхронность или асинхронность) в колебаниях их водных ресурсов.

3.3.4. Элементы гидрологического цикла и их современные изменения

Анализ изменений элементов гидрологического цикла за многолетний период выполнен в ГГИ с использованием метода водного баланса.

Одно из последних исследований в данном направлении было представлено на VI Всероссийском гидрологическом съезде в 2004 г.

В табл. 3.19 приведены данные по основным элементам наземной ветви гидрологического цикла (элементам водного баланса) за период 1936–1980 гг. Эти данные по существу являются «нормами» основных элементов гидрологического цикла в пределах семи федеральных округов России. Из таблицы следует, что в Центральном и Северо-Западном федеральных округах России выпадают наибольшие суммы осадков в течение года — 674–709 мм. Наименьшие суммы осадков выпадают в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах (соответственно 512 мм и 516 мм в год).

Наибольшие значения стока характерны для Северо-Западного, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов (соответственно 325 мм и 248 мм в год), а наименьшие величины стока отмечаются в Южном и Приволжском округах (соответственно 85 мм и 154 мм в год).

Испарение достигает наибольших значений в Центральном и Южном федеральном округах (соответственно 549 мм и 518 мм), а наименьших — в Сибирском и Дальневосточном округах (соответственно 264 мм и 269 мм). В целом для территории России за рассматриваемый период «нормы» осадков, стока и испарения соответственно равны 548 мм, 237 мм и 311 мм в год.

В последние два десятилетия увеличение глобальной температуры воздуха на нашей планете было особенно значительным (Клиге, Данилов, Конищев, 1998; Современные глобальные изменения..., 2006). Именно в этот период происходило увеличение интенсивности общей циркуляции атмосферы, повышение температуры воздуха и поверхности океана, интенсификация процессов Эль-Ниньо через каждые 4–6 лет, усиление циклонической деятельности в умеренных широтах Северного полушария.

Все эти факторы сказались на значениях элементов гидрологического цикла России. В табл. 3.19 приведены осредненные значения основных элементов гидрологического цикла нашего государства за период 1985–2003 гг. Из таблицы 3.19, следует, что практически все элементы гидрологического цикла за последние 20 лет в федеральных округах России были выше своих «норм». В частности, атмосферные осадки для нашего государства в целом превышали свои «нормы» на 6%, испарение — на 7%, а сток был выше среднего многолетнего значения на 5%.

Таблица 3.19

Элементы гидрологического цикла федеральных округов России (числитель — за 1936–1980 гг., знаменатель — за 1985–2003 гг.)

Федеральные округа	Площадь территории, тыс. км ²	Элементы (нормы), мм/год		
		осадки	сток	испарение
Северо-Западный	1677,9	674/718	324/346	350/372
Центральный	652,8	709/766	160/173	549/593
Приволжский	1035,9	602/750	154/192	448/558
Южный	589,2	602/712	84/100	518/612
Уральский	1788,9	529/587	212/235	317/352
Сибирский	5114,8	512/522	248/253	264/269
Дальневосточный	6215,9	516/528	248/254	268/274
Российская Федерация в целом	17 075,4	548/580	237/248	311/332

Литература

Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 324 с.

Алпатьев А. М. Развитие, преобразование и охрана природной среды. — Л.: Наука, 1983. — 240 с.

Андреев В. Г., Бабкин В. И., Бочков А. П. Теория и методы расчета водного баланса речных бассейнов // Влагооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. — М.: Стройиздат, 1974. — С. 139–148.

Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. — Т. 2. — Кн. 2. — М.: Изд-во ВИНТИ, 1997. — 270 с.

Бабкин В. И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической активности // Метеорология и гидрология. — 1995. — № 1. — С. 94–100.

Бабкин В. И. Глобальные факторы формирования стока рек Русской равнины // Современные проблемы гидрометеорологии. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. — Вып. 123. — С. 101–114.

Бабкин В. И., Бочков А. П. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 89. Составление

водных балансов речных бассейнов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 96 с.

Бабкин В. И., Воробьев В. Н., Качанов С. Ю., Смирнов Н. П. Северо-Атлантическое колебание и многолетняя динамика стока рек Европы. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. — Вып. 123. — С. 114–121.

Бабкин В. И., Воробьев В. Н., Смирнов Н. П. Колебания стока Оби, Енисея и Лены и динамика циркуляции атмосферы в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 1. — С. 74–80.

Бабкин В. И., Клизе Р. К. Механизм увлажнения и сток рек Русской равнины // Водные ресурсы. — 2005. — Т. 32. — № 1. — С. 108–114.

Бабкин В. И., Постников А. Н. Циклонические осадки и сток рек Невы, Северной Двины и Печоры // Современные проблемы гидрометеорологии. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. — Вып. 123. — С. 153–172.

Бабкин В. И., Постников А. Н. Циклонические осадки и сток Оби и Енисея в маловодные и многоводные годы // Метеорология и гидрология. — 2002. — № 12. — С. 79–85.

Бабкин В. И., Постников А. Н. О генезисе изменений водных ресурсов на территории Российской Федерации // Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. — М.: Наука, 2003. — С. 169–178.

Бабкин В. И., Постников А. Н. Влияние Солнца и Луны на сток рек // Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. — М.: Наука, 2003. — С. 178–187.

Бабкин В. И., Постников А. Н. Генезис вод и сток р. Лена в маловодные и многоводные годы // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 2. — С. 96–101.

Бабкин В. И., Постников А. Н., Смыслов С. В., Минеева И. В. Влияние циклонической активности на сток Волги // Труды ГГИ. — 1992. — Вып. 360. — С. 48–57.

Белоусов В. В., Люстих Е. Н., Шанцер Е. В. Гидросфера Земли // БСЭ. — Т. 9. — М.: Сов. Энциклопедия. — 1972. — С. 480–482.

Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. — Л.: Гидрометеиздат, 1947. — 136 с.

Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 302 с.

Гущина Д. Ю., Петросянец М. А. О связи температуры поверхности экваториальной части Тихого океана с циркуляцией скорости ветра в центрах действия атмосферы // Метеорология и гидрология. — 1992. — № 12. — С. 5–17.

Дзюба А. В., Панин Г. Н. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 5. — С. 5–27.

Догановский А. М., Малинин В. Н. Гидросфера Земли. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — 630 с.

- Долгушин Л. Д. Современное наземное оледенение. — Материалы гляциологических исследований. — 2000. — Вып. 88. — С. 157–208.
- Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 568 с.
- Зекцер И. С. Подземные воды, как компонент окружающей среды. — М.: Научный мир, 2001. — 328 с.
- Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетени. Подземный водообмен суши и моря. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 207 с.
- Зубенок Л. И. Испарение на континентах. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 264 с.
- Израэль Ю. А., Груза Г. В., Катцов В. М., Мелешко В. П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 5. — С. 3–11.
- Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 377 с.
- Калинин Г. П. Некоторые проблемы водообмена в природе // Влагооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. — М.: Стройиздат, 1974. — С. 27–40.
- Клиге Р. К., Данилов И. Д., Конищев В. Н. История гидросферы. — М.: Научный мир, 1998. — 368 с.
- Климат России / Под ред. Н. В. Кобышевой, Э. Г. Богдановой и др. — СПб., 2001. — 548 с.
- Короткевич Е. С., Котляков В. М. Антарктида, сток, водный баланс // Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Разд. 5.9. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — С. 484–491.
- Кузнецова Л. П. Перенос влаги в атмосфере над территорией СССР. — М.: Наука, 1978. — 91 с.
- Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974. — 448 с.
- Львович М. И. Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1986. — 256 с.
- Малинин В. Н. Изменчивость глобального водообмена в условиях современного климата. — Метеорология и гидрология (в печати).
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А. и др. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С. 38–49.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / Под ред. В. И. Корзуна, А. А. Соколова. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 638 с.
- Найденко В. И., Швейкина В. И. Водный механизм глобального потепления климата. // Глобальные изменения природной среды. — М.: Научный мир, 2000. — С. 161–170.
- Перов С. П. и др. Новое в проблеме глобальных изменений и физико-геологический подход к устойчивому развитию // Физическая экология. Физические проблемы экологии. — М.: МГУ, 1999. — Т. 5. — С. 7–19.
- Перов С. П., Показеев К. В. Физические основы глобальных изменений окружающей среды // Современные глобальные изменения природной среды. — М.: Научный мир, 2006. — Т. 2. — Разд. 15.2. — С. 708–737.
- Петросяня М. А., Семенов Е. К., Соколичина Е. В. Атмосферная циркуляция в периоды различной активности экваториальной зоны западных ветров в фазу кульминации явления Эль-Ниньо — Южное колебание 1982–1983 гг. // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 11. — С. 5–14.
- Пудовкин М. И., Распопов О. М. Физический механизм воздействия солнечной активности и других геофизических факторов на состояние нижней атмосферы, метеопараметров и климат // Успехи физических наук. — 1993. — Т. 163. — № 7. — С. 113–116.
- Сидоренко Н. С. Нестабильности вращения Земли и глобальные изменения природных процессов // Современные глобальные изменения природной среды. — 2006. — Т. 2. Разд. 15.3. — С. 737–748.
- Современные глобальные изменения природной среды / Под ред. С. Н. Касимова, Р. К. Клиге. — М.: Научный мир, 2006. — 696 с.
- Соколов А. А. Вода: проблемы на рубеже XXI века. — Л.: Гидрометеоздат, 1986.
- Сорохтин О. Г. Парниковые газы в атмосфере Земли не вызывают потепления климата // Наука в России. — 2001. — № 4. — С. 43–48.
- Сытинский А. Д. О механизме влияния корпускулярного излучения Солнца на циркуляцию атмосферы // ДАН СССР. — 1983. — Т. 270. — № 4. — С. 355–359.
- Сытинский А. Д., Постников А. Н. О зависимости стока Волги от солнечной активности // Условия формирования и методы прогноза стока Волги. — СПб.: Гидрометеоздат, 1995. — С. 4–23.
- Тимофеев П. П., Холодов В. П., Зверев В. П. Гидросфера и эволюция Земли // Изв. АН СССР. — 1988. — Сер. «Геолог». — № 6. — С. 3–19.
- Федосеев П. А. Развитие знаний о происхождении, количестве и круговороте воды на Земле. — М.: Наука, 1967. — 190 с.
- Федосеев П. А. История изучения основных проблем гидросферы. — М.: Наука, 1975. — 207 с.
- Фрик П., Соколов Д. Вейнлеты в астрофизике и геофизике // Компьютерра. — 1998. — № 8. — С. 46–51.
- Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 308 с.
- Швер Ц. А. Атмосферные осадки на территории СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 302 с.
- Швер Ц. А. Закономерности распределения количества осадков на континентах. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 282 с.

- Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Под ред. Н. В. Кобышевой, К. Ш. Хайруллина. — СПб.: Гидрометеоздат, 2005. — 319 с.
- Baumgartner A., Reichel E.* The World Water Balance. — München; Wien: R. Oldenburg Verlag, 1975.
- Berner E. K., Berner R. A.* The Global Water Cycle: Biochemistry and Environment. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1987.
- Calder.* The Manic Sun. Weather theories confounded. — London: Pilkington Press, 1997. — 211 p.
- Georgiyevsky V. Yu., Shiklomanov I. A.* Climate change and water resources // World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. — Cambridge Univ. Press, 2003. — P. 390–413.
- Gleick P. H.* (ed.) Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. — New York; Oxford Univ. Press, 1993.
- IPCC. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. J. T. Houghton et al. — Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
- IPCC. Fourth Assessment Report. Working Group I. Climate Change. The Physical Science Basis. — 2007. — Presented on IPCC Conference in Paris 02 February.
- Jakubiak B, Sonechkin D. M., Zimin N. E.* Study of changes and self-similarity in climate dynamics over the Europe-North Atlantic area // Geograph. Polon. — 1996. — Vol. 67. — P. 5–28.
- Jean-Pierre R., Jolanta N.* Sur les irregularities de rotation de la Terre couplees a sa temperature globale // C. R. Acad. Sci. — 1992. — Ser. 2. — Vol. 315. — N 6. — P. 667–672.
- Nace R.* Are We Running out of Water? Us Geological Survey Circular N 536. — Washington: DC, US Government Printing Office, 1967.
- National Council of Scientific Research, 1986.
- Pudovkin M. I., Veretenenko S. V. et al.* Meteorological characteristic changes in the high-latitudinal atmosphere associated with Forbush decreases of the galactic cosmic rays // Adv. Space. Res. — 1997. — Vol. 20. N 6. — P. 1169–1172.
- Ramanatau V.* et al. Cloud-radiativ forcing and climate: results from the Earth's radiation budget experiment // Science. — 1999. — Vol. 243. — P. 57–63.
- Ropelwski C. F., Halpert M. S.* Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino/ Southern Oscillation // Monthly Weather Rev. — 1987. — Vol. 115. — N 8. — P. 1606–1626.
- Shiklomanov I. A.* Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO lecture // WMO. — 2004. — N 959. — P. 13–146.
- Shiklomanov I. A., Rodda J.* (ed.) World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. — UNESCO, Cambridge Univ. Press, 2003. — 436 p.
- Svensmark H.* Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate // Physical Review Letters 30 Nov. — 1998. — Vol. 81. — N 22. — P. 5027–5030.
- Tree ... Tree rings and people. Int. Conf. on the Future of Dendrochronology. Davos. Switzerland, 2001. — Sept. 22–26. Abstracts.
- White et al.* Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance. J. Geophys. Res. (Oceans), 1997.

Глава 4

МЕДЛЕННО ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ («ВЕКОВЫЕ» ЗАПАСЫ ВОДЫ)

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Водные ресурсы Российской Федерации формируются в результате процессов Глобального гидрологического цикла и являются частью мировых водных ресурсов. В зависимости от скорости возобновления их в процессах гидрологического цикла они подразделяются на две категории: медленно возобновляемые, или «вековые», запасы воды и ежегодно возобновляемые водные ресурсы.

К категории медленно возобновляемых водных ресурсов относятся глубоко залегающие подземные воды, связанная почвенная влага, запасы воды в озерах и болотах, ледниках арктических островов и горных районов, подземных льдах зоны многолетней мерзлоты. Суммарные запасы медленно возобновляемых вод в пределах Российской Федерации не превышают 3,0 млн км³.

К категории ежегодно возобновляемых водных ресурсов России принадлежит сток ее многочисленных рек, ручьев и временных водотоков. В свою очередь, речные водосборы относятся к бассейнам 12 морей, омывающих территорию нашей страны, и к бассейну Каспийского моря — области внутреннего стока Евразии (Соколов, 1964).

В настоящей главе рассматриваются медленно возобновляемые водные ресурсы нашего государства, так называемые вековые запасы воды. В ней же приводятся краткие сведения по быстро возобновляемым запасам воды в искусственных водоемах — водохранилищах, а также по запасам биологической воды и воды в атмосфере. Последние два вида вод очень быстро возобновляются в процессах гидрологического цикла и по существу не связаны как с медленно возобновляемыми водными ресурсами, так и с речным стоком.

4.2. ОЗЕРА

Значительная часть вековых запасов пресных вод сосредоточена в больших озерах ($24,3 \cdot 10^3$ км³), причем около 95% этого объема содержится в одном водоеме — Байкале.

Суммарный объем воды в крупнейших озерах России (без учета Каспийского моря), приведенных в табл. 4.1, составляет около 24 855 км³. Из табл. 4.1 видно, что общая площадь водной поверхности крупнейших озер России, указанных в ней (без учета Каспийского моря и малых озер), составляет 81 650 км² или 0,5% от площади территории Российской Федерации.

Водные ресурсы крупнейших проточных озер нашей страны используются в целях гидроэнергетики, водообеспечения, рыболовства, ирригации и т. д. Уровненный режим многих сточных озер, в том числе Байкала, Онежского, Белого и Ильмень, в той или иной мере регулируется подпорными сооружениями, возведенными на реках, берущих начало из этих озер. За счет подпора плотин несколько увеличились запасы воды в Байкале, Онежском, Белом, Ильмень и других озерах.

Вследствие интенсивного использования водных ресурсов рек, впадающих в бессточные озера, расположенные главным образом в южной части России, в первую очередь на развитие орошения, возрастают потери стока и, как следствие этого, снижается приток воды в водоемы. Поэтому происходит снижение запасов воды в указанных озерах (оз. Чаны и др.). В целях предотвращения снижения уровня и запасов воды бессточных озер в последние десятилетия XX в. был осуществлен ряд крупных водохозяйственных мероприятий. Например, в 1971 г. была построена земляная плотина, отделив-

шая мелководный Юдинский плес от оз. Чаны, что позволило повысить уровень его восточной части, имеющей важное рыбопромысловое значение.

В конце XX в. в южной части России (в районах массового развития орошения), наряду с уменьшением запасов воды в крупных бессточных водоемах, возникли ирригационно-сбросные озера, образованные путем заполнения естественных понижений сбросными и возвратными водами.

Воды озер России расходуются и возобновляются, участвуя в процессах гидрологического цикла. Период полного возобновления вод проточных озер России в среднем близок к 120 годам, изменяясь от 315 лет до одного года и менее (малые озера).

Таблица 4.1

Крупнейшие озера Российской Федерации

Озеро	Площадь зеркала, км ²	Наибольшая глубина, м	Объем, км ³
Байкал	31 722	1642	23 615
Ладожское	17 872	228	838
Онежское	9 693	120	292
Таймыр	4 560	26,0	12,77
Ханка	4 190	10,6	18,5
Чудско-Псковское	3 550	15,3	25,2
Чаны	2 270	8,5	4,83
Ильмень	1 100	4,30	2,85
Хантайское	822	420	—
Имандра	810	67	11,2
Пясино	735	—	2,94
Кулундинское	728	4,0	1,82
Убинское	600	5	0,95
Воже	418	5	1,08
Чукчагирское	366	6	0,73
Болонь	338	4	0,74
Лача	334	5,3	1,0
Удыль	330	5,0	0,83
Лама	318	63	17,1
Орель	314	3,8	0,82
Умб-озеро	313	115	4,65
Сям-озеро	266	24	1,79

4.3. ВОДОХРАНИЛИЩА

Наряду с естественными озерами на территории Российской Федерации сооружено большое количество водохранилищ. Большая часть этих водоемов — проточные. Они созданы для регулирования

Таблица 4.2

Запасы воды в крупнейших водохранилищах России

Водохранилище	Река	Объем, км ³	
		полный	полезный
Куйбышевское	Волга	58,0	34,6
Волгоградское	Волга	31,4	8,20
Рыбинское	Волга	25,4	16,7
Цимлянское	Дон	23,9	11,5
Верхне-Свирское	Свирь	0,70	0,50
Чебоксарское*	Волга	4,60	—
Кумское	Кума-Ковда	9,83	8,63
Нижнекамское*	Кама	2,9	—
Саратовское	Волга	12,9	1,80
Верхнелуловское	Тулома	11,5	3,86
Имандровское	Нива	11,2	2,30
Камское	Кама	12,2	9,20
Воткинское	Кама	9,36	3,70
Горьковское	Волга	8,80	2,80
Выгозерское	Нижний Выг	6,44	0,70
Шекснинское	Шексна	6,52	1,85
Братское	Ангара	169,3	48,2
Красноярское	Енисей	73,3	30,4
Зейское	Зея	68,4	32,1
Усть-Илимское	Ангара	58,9	2,74
Иркутское	Ангара	2,10	0,45
Вилуйское	Вилуй	35,9	17,8
Саяно-Шушенское	Енисей	31,3	15,3
Кольмское	Кольма	1446	6,56
Новосибирское	Обь	8,80	4,40
Бурейское	Буряя	20,9	10,7
Богучанское	Ангара	58,2	20,3

П р и м е ч а н и е. * Водохранилища работают при пониженных (по сравнению с проектными) отметках уровня воды; характеристики приведены для современных отметок.

речного стока, и запасы воды в них не относятся к медленно возобновляемым водным ресурсам. Объемы вод в русловых водохранилищах, как правило, невелики. Значительная часть поступающих в водохранилища вод притока проходит через них транзитом.

Сведения о крупнейших водохранилищах Российской Федерации приведены в табл. 4.2. Многие большие водохранилища имеют комплексное назначение, то есть удовлетворяют потребностям одновременно нескольких отраслей хозяйства (энергетики, ирригации, водного транспорта, водоснабжения). Малые водохранилища обычно создавались для решения одной конкретной задачи. Например, небольшие высокогорные водохранилища исполь-

зуются для энергетических целей, а небольшие водохранилища в ирригационных районах — для целей орошения и т. д.

В настоящее время наибольший объем воды — 169,3 км³ — содержится в Братском водохранилище. Полезный объем этого водохранилища составляет 48,2 км³.

Наибольшее количество больших водохранилищ — 16 — сосредоточено в Северном и Северо-Западном экономических районах европейской части России. Наибольший объем воды — 402,3 км³ — сосредоточен в крупнейших водохранилищах Восточно-Сибирского экономического района (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987).

На территории Российской Федерации при строительстве сельских ГЭС и мельниц на малых реках сооружены водохранилища, которые иногда используются для водообеспечения тепловых электростанций.

В центральных и северных районах европейской части России строительство гидроузлов и создание водохранилищ производилось, как правило, для целей энергетики и водного транспорта. На Северном Кавказе создание водохранилищ было направлено на решение задач энергетики и орошения. В Сибири основными направлениями использования водохранилищ являются энергетика и водный транспорт, а на Дальнем Востоке — также и борьба с наводнениями.

4.4. БОЛОТА

Площадь болот и заболоченных земель в нашей стране составляет примерно 1,8 млн км², т. е. больше 10% всей площади Российской Федерации. На долю болот приходится около 46% от указанной площади. Болота встречаются во всех природных зонах России, за исключением зоны полупустынь, однако наиболее распространены они в лесной зоне. Наиболее заболоченными районами Российской Федерации являются Западная Сибирь и Северо-Запад. Средняя заболоченность Западно-Сибирской равнины составляет около 40%, а заболоченность отдельных ее территорий и речных водосборов достигает 80%.

Широкий диапазон изменений климатических, геоморфологических и гидрогеологических условий залегания болот обуславливает большое разнообразие в их строении и гидрологическом режиме.

Сведения о площади болот и запасах воды в них приведены в табл. 4.3.

Вследствие недостаточной изученности болот ряда районов Крайнего Севера, Центральной и Восточной Сибири, Дальнего Востока общая площадь болот, а следовательно, и запас воды в них оценен приближенно. Продолжительность периода полной смены массы воды болот составляет около 5 лет (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974).

Таблица 4.3

Запас воды в болотах России

Площадь болот, км ²	Запас воды в болотах, км ³
830000	1520

4.5. РУСЛА РЕК

Реки России принадлежат к бассейнам Тихого, Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Большая часть речных вод (64%) стекает в Северный Ледовитый океан. К бассейну этого океана относятся главнейшие реки Российской Федерации: Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Оленёк, Лена, Яна, Индигирка, Колыма. К бассейну Тихого океана относятся реки восточной части нашей страны, среди которых одна из крупнейших рек России — Амур. К бассейну Атлантического океана относятся реки центральной и западной частей европейской части нашей страны. Главнейшими реками бассейна Атлантического океана являются: Нёва, Западная Двина (в пределах России), Неман (в пределах Калининградской области), Кубань, Дон, Верхний Днепр. Около 10% территории Российской Федерации принадлежит бассейну Каспийского моря, являющегося крупнейшим бессточным бассейном мира.

В зависимости от изменения климатических факторов и, в первую очередь, осадков и испарения, количество воды в руслах рек непрерывно меняется от года к году и от сезона к сезону. Эти колебания для разных рек нашего государства являются несинхронными. Поэтому единовременный запас воды в руслах всех рек России был определен для средних условий, исходя из предположения, что в данный момент на всех реках проходит средний многолетний расход воды.

Для оценки объемов воды в руслах рек использовалась формула (Мировой водный баланс и вод-

ные ресурсы Земли, 1974; Водные ресурсы СССР и их использование, 1987):

$$W_p = 0,4 \cdot 10^{-6} QL, \quad (4.1)$$

где W_p — средний объем воды в русле реки, км³; Q — средний многолетний расход воды в устье реки, м³/с; L — длина реки, км.

Данные о средних многолетних объемах воды в руслах крупнейших рек нашего государства приведены в табл. 4.4.

В табл. 4.4 приведены также данные по значениям коэффициентов возобновления речных вод k . Их оценка производилась по формуле:

$$k = \frac{\bar{W}}{W_p}, \quad (4.2)$$

где \bar{W} — средний годовой объем стока реки, км³.

Коэффициент возобновления показывает, сколько раз в год обновляется объем воды в русле реки.

Таблица 4.4

Средний объем воды в руслах основных рек Российской Федерации, км³

№ п/п	Река	Объем воды в русле реки	Коэффициент возобновления воды в русле реки
1	Печора	3,0	45
2	Мезень	0,4	91
3	Северная Двина	1,0	109
4	Онега	0,1	187
5	Неман	0,1	(40)
6	Дон	0,6	45
7	Кубань	0,1	145
8	Терек	0,1	112
9	Волга	11,4	23
10	Обь	18,5	21
11	Пур	0,2	165
12	Таз	0,8	42
13	Енисей	27,9	23
14	Пясина	0,8	102
15	Хатанга	2,1	48
16	Анабар	0,2	80
17	Оленёк	1,0	34
18	Лена	29,7	18
19	Яна	0,3	107
20	Индигирка	1,2	49
21	Колыма	3,4	36
22	Амгуэма	0,1	88
23	Анадырь	0,9	85
24	Камчатка	0,3	110
25	Амур	12,3	29

Из табл. 4.4 видно, что в сравнительно небольших реках происходит более частое обновление речных вод в году.

Запасы воды в руслах рек не являются медленно возобновляемыми водными ресурсами. Это, по существу, быстро возобновляемые ресурсы речного стока.

4.6. ЗАПАСЫ ВОДЫ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФОРМЕ

Количество воды, содержащейся в живых организмах и растениях на территории России, сравнительно невелико. Однако эта вода является важным звеном в процессе влагооборота. Значительная часть воды, испаряющейся с суши, поступает в атмосферу из почвы вследствие транспирации ее растениями. Около 12–15% суммарного испарения с поверхности суши осуществляется растениями, хотя сами растения в каждый момент времени содержат небольшой запас воды.

В настоящее время принято (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974), что объем живого вещества биосферы равен $1,4 \cdot 10^{12}$ т. Содержание воды в живом веществе на поверхности суши нашей планеты составляет примерно 80% (Будыко, 1984), т. е. $1,12 \cdot 10^{12}$ т., или 1120 км³. Для территории Российской Федерации, составляющей 11,46% от площади суши Земного шара, содержание воды в биологической форме ориентировочно можно оценить в 130 км³. Ориентировочное значение количества «биологических» вод объясняется тем обстоятельством, что по оценкам разных исследователей (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974; Будыко, 1984) объем указанных вод для Земного шара колеблется от $3,6 \cdot 10^{11}$ до 10^{14} т.

Из общего количества воды, содержащейся в биологической форме, 60% является легко выделяемой, то есть принимающей участие в ее круговороте на Земле.

«Биологические» воды быстро возобновляются. По данным (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974) период их возобновления составляет всего несколько часов.

4.7. ВОДА В АТМОСФЕРЕ

В атмосфере Земли вода содержится в виде водяного пара, капель воды и кристаллов льда. Общее количество влаги в атмосфере составляет $12\,900\text{ км}^3$ (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974). Содержание водяного пара в атмосфере изменчиво. На широте 70° среднее содержание водяного пара составляет $0,2\%$, на широте 50° — $0,9\%$. С высотой количество пара быстро уменьшается. От поверхности Земли до высоты $3,5\text{ км}$ находится 70% влаги, а в слое от 0 до 5 км — около 90% .

Для территории Российской Федерации основным источником влаги является Атлантический океан. Над большей частью территории нашей страны в течение всего года преобладает западный перенос влаги. Особенно этот перенос устойчив и интенсивен в широтном поясе 50 – 60° с. ш. Как правило, в течение года значения результирующего потока влаги меняются в широких пределах: от $30\text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ в январе — феврале до 70 – $80\text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ в августе — октябре.

Западный поток влаги достигает наибольшей интенсивности и распространения в сентябре, когда в зоне 60 – 67° с. ш. он простирается почти до восточных границ России.

В июле сказывается влияние восточного переноса на северной периферии Южноазиатской летней термической депрессии, достигающей в этом месяце максимального развития. В июле влияние восточного переноса прослеживается в поле зонального потока вплоть до Центрального федерального округа России, где он встречается с мощным западным потоком.

Общее количество влаги в атмосфере над территорией России весьма ориентировочно. По данным исследований (Кузнецова, 1978; 1983) оно может быть оценено в 180 км^3 .

Атмосферная влага возобновляется в течение 8 дней.

4.8. ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА

Почвенная влага тесно связана с погодными условиями. Во влажные периоды происходит накопление влаги в почве, а в сухие — расходование ее на испарение и транспирацию.

Наибольшие изменения запасов влаги происходят в верхнем слое почво-грунтов мощностью 1 – 2 метра . В двухметровом слое почво-грунтов содержится практически почти вся почвенная влага, участвующая в процессах испарения.

Если исключить из общей площади России территории, покрытые ледниками, а также многолетней мерзлотой, то площадь почвенного покрова составит около $6,05\text{ млн км}^2$. Учитывая эту площадь и содержание влаги в ее почво-грунтах мощностью 7 м , можно определить общие запасы влаги почво-грунтов этой территории России в объеме 4238 км^3 . Объем влаги в почво-грунтах территории, занятой многолетней мерзлотой площадью $10,6\text{ млн км}^2$, ориентировочно может быть оценен в 2192 км^3 . Таким образом, запасы влаги в почво-грунтах России составляют около 6430 км^3 .

Это значение довольно приближенно характеризует запасы влаги в почво-грунтах России, составляющих около 7% от их величины для Земного шара в целом.

4.9. ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

К естественным запасам подземных вод относится объем гравитационной воды, содержащейся в трещинах и порах водонасыщенной толщи земной коры. Величина этих запасов определяется в виде произведения объема, который занимает водоносный горизонт, на его водоотдачу или эффективную пористость.

Оценка естественных запасов подземных вод верхней части земной коры для территории России выполнена на глубину до отметки 2000 м . По этой отметке проходит изобата, приближенно определяющая распространение земной коры на континентах.

При оценке естественных запасов подземных вод в нашей стране были приняты во внимание выделенные Ф. А. Макаренко (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974) три гидродинамические зоны подземного стока:

1. Зона активного водообмена, расположенная в верхней части земной коры, обладает наибольшей динамичностью. Активность водообмена этой зоны увеличивается с увеличением дренированности территории реками. Подземные воды этой зоны

наиболее полно отражают климатические и ландшафтные факторы их формирования. Эффективная пористость этой зоны принималась равной 15%, а ее мощность в Европейской части России — 100 м, в Азиатской — 200 м. Подземные воды этой зоны в основном являются пресными или слабоминерализованными.

2. Зона сравнительно активного водообмена расположена ниже первой зоны до абсолютных отметок поверхности океана. Области дренирования подземных вод этой зоны приурочены к речным долинам, котловинам и впадинам, т. е. к пониженным участкам местности. В приморских районах воды этой зоны разгружаются непосредственно в моря. Значительная часть второй гидродинамической зоны занята напорными водами. Часть вод этой зоны в районах распространения многолетнемерзлых пород связана с наледями, подземными льдами. Меньшая динамическая активность рассматриваемой зоны определяет повышенную минерализацию подземных вод. Однако подземные воды этой зоны в основном являются пресными или слабоминерализованными. Мощность второй гидродинамической зоны в европейской части России принята равной 200 м, а в азиатской — 400 м. Эффективная пористость принята одинаковой по территории Российской Федерации для этой зоны — 12%.

3. Зона замедленного водообмена расположена от абсолютной отметки поверхности океана до уровня с абсолютной отметкой —2000 м. Подземные воды верхней части этой зоны дренируются глубокими врезамися крупных речных долин, впадинами, а на больших глубинах — океаническими впадинами.

В верхней части рассматриваемой зоны встречаются пресные и слабоминерализованные воды, а ниже наблюдаются соленые воды и рассолы. Режим подземных вод нижней части зоны обычно

является застойным. Средняя эффективная пористость для этой зоны составляет 5%.

В результате проведенных расчетов (табл. 4.5) установлено, что объем естественных запасов подземных вод земной коры России от поверхности Земли до глубины 2000 м приблизительно равен 2,87 млн км³.

Этот объем примерно в 1,8 раза превышает соответствующие запасы подземных вод на территории Европы, очень близок к значению запасов подземных вод для континента Южная Америка (96%) и составляет 67% от запасов подземных вод Северо-Американского континента.

4.10 ЗАПАСЫ ВОДЫ ВО ЛЬДАХ

Большие запасы пресных вод Российской Федерации (табл. 4.6) сосредоточены в ледниках. Общая площадь современного оледенения России составляет 59 545 км² (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997), т. е. 0,3% территории нашего государства. Большие площади оледенения на территории России сосредоточены на островах Северного Ледовитого океана: Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля. Суммарная площадь оледенения указанных островов составляет 55 716 км², т. е. близка к 94% общей площади оледенения территории Российской Федерации. Суммарная площадь ледников, расположенных в горах нашей страны, близка к величине 3830 км².

Данные о запасах воды в ледниках России во многих случаях являются приближенными (Гляциологический словарь, 1984). В настоящее время для оценки средней толщины льда используются немногочисленные данные измерений, полученные

Таблица 4.5

Естественные запасы подземных вод верхней части земной коры Российской Федерации по гидродинамическим зонам

Часть России	Площадь территории, км ²	Гидродинамическая зона	Мощность зоны, м	Эффективная пористость, %	Запасы подземных вод по зонам, км ³	Суммарные запасы подземных вод, км ³
Европейская	4 238 400	Первая	100	15	63 576	589 138
		Вторая	200	12	101 722	
		Третья	2000	5	423 840	
Азиатская	12 837 000	Первая	200	15	385 110	2 284 986
		Вторая	400	12	616 176	
		Третья	2000	5	1 283 700	
Российская Федерация	17 075 400	Первая	100 и 200	15	448 686	2 874 124
		Вторая	200 и 400	12	717 898	
		Третья	2000	5	1 707 540	

Таблица 4.6

Запасы воды в ледниках Российской Федерации*

Территория	Площадь оледенения, км ²	Запасы воды в ледниках, км ³
Острова Северного Ледовитого океана:		
Земля Франца-Иосифа	13 746	1890
Новая Земля	23 645	7290
Остров Ушакова	325	43,2
Северная Земля	18 325	4230
Де-Лонга	81	9,9
Виктория	10,7	0,45
Врангеля	3,5	0,01
Хибины	0,1	0,01
Урал	28,7	0,396
Бырранга	30,5	0,837
Путорана	2,5	0,027
Кузнецкий Ала-Тау	6,8	0,054
Алтай	906,5	35,37
Саяны	30,3	0,468
Орулган	18,4	0,315
Котар	18,8	0,351
Хребет Черского	156,2	4,68
Сунтар-Хаята	201,6	6,84
Верхоянский хребет	21,4	0,48
Корякское нагорье	259,7	7,38
Камчатка	874,1	35,01
Кавказ	853,6	45,419

Примечание. * По данным Атласа снежно-ледовых ресурсов мира, 1997.

путем бурения льда или сейсмического зондирования. Эти данные затем распространялись на другие ледники, аналогичные по морфологическим признакам. Точность расчета ледниковых вод зависит от густоты зондирования и в дальнейших исследованиях будет повышаться по мере расширения исследований мощности ледников.

Основные запасы воды (13 470 км³) содержатся в покровных ледниках арктических островов. Наиболее значительные объемы воды в ледниках сосредоточены на острове Новая Земля — 7290 км³. За счет льда, спускающегося в океан, здесь ежегодно образуется до 2 км³ айсбергов. На островах архипелагов Северная земля и Земля Франца-Иосифа сосредоточено более 1200 ледников, с общей площадью оледенения 32 070 км². Суммарные запасы воды в ледниках указанных архипелагов (61 20 км³) также весьма велики.

В ледниках горных районов России запасы воды значительно меньше (133,1 км³), чем в ледниках арктических островов. Наибольшие запасы воды в ледниках горных районов нашего государства сосредоточены на Алтае, Камчатке, Кавказе. Суммарные запасы воды в ледниках указанных трех регионов составляют 111,3 км³, то есть около 85% от общего их количества для всех горных систем России. Со многих ледников горных районов летом осуществляется сток воды, увеличивая питание рек в летнюю межень.

В течение последних десятилетий наблюдались изменения массы многих ледников России. Установлено (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997), что ледниковые покровы Земли Франца-Иосифа, Новой Земли, Северной Земли и других островов Северного Ледовитого океана в последние десятилетия находятся в неустойчивом состоянии, с преобладанием отрицательного баланса ледниковой массы.

Оледенение Полярного Урала характеризуется чередованием положительных и отрицательных балансов льда, близких к нулю. Ледники этого района в последние десятилетия резко сократились. За последние десятилетия ледники горных районов Сунтар-Хаята и Черского также находятся в стадии сокращения своих площадей.

Большинство ледников Верхоянского хребта находится в стационарном состоянии.

В пределах Кавказа отмечается тенденция к отступлению ледников.

С середины XIX столетия продолжается сокращение размеров ледников Алтая. Однако в послед-

ние десятилетия отдельные крупные ледники стабилизировались (баланс их близок к нулю).

Ледники Западного и Центрального Кавказа имеют тенденцию к стационарному состоянию, однако отмечались отдельные периоды с положительным балансом. Ледники Восточного Кавказа в последние десятилетия несколько увеличиваются в размерах. В целом же на Кавказе за последние 100 лет наблюдается тенденция к сокращению площади оледенения, которая к настоящему времени уменьшилась почти на 30%.

Таким образом, общей тенденцией эволюции ледников Российской Федерации за многолетний период является их повсеместная деградация. Это обстоятельство приводит к уменьшению запасов воды в них (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997).

Запасы воды в ледниках арктических островов и горных районов России участвуют в процессах

водообмена на Земле. Периоды их возобновления различны. По оценкам (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997), запасы воды в ледниках горных районов возобновляются в среднем через 1600 лет, а на островах Северного Ледовитого океана — через 9700 лет. Таким образом, запасы воды в ледниках являются медленно возобновляемыми (статическими) водными ресурсами.

4.11. МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА, ПОДЗЕМНЫЕ ЛЬДЫ И НАЛЕДИ

Многолетнемерзлые породы (ММП) занимают 64,5% территории Российской Федерации (рис. 4.1). Они круглый год имеют отрицательную темпера-

туру и включают мерзлые (содержащие лед), морозные (без воды и льда) и охлажденные (насыщенные высокоминерализованными водами с отрицательной температурой) горные породы, формирующие криолитозону.

Южная граница криолитозоны на территории нашего современного государства начинается на северной половине Кольского полуострова, далее она идет к устью р. Мезень, среднему течению р. Печора и опускается вдоль западного склона Урала южнее 64° с. ш. В Западной Сибири она проходит по широтному отрезку р. Обь, поднимаясь к северу по долине р. Обь и опускаясь к югу у р. Енисей. Ниже устья р. Подкаменная Тунгуска граница резко поворачивает на юг, уходя по правому берегу Енисея за пределы Российской Федерации в горные районы Монголии и Китая. На востоке нашего государства она оконтуривает горные хребты вдоль р. Амур и на Камчатке.

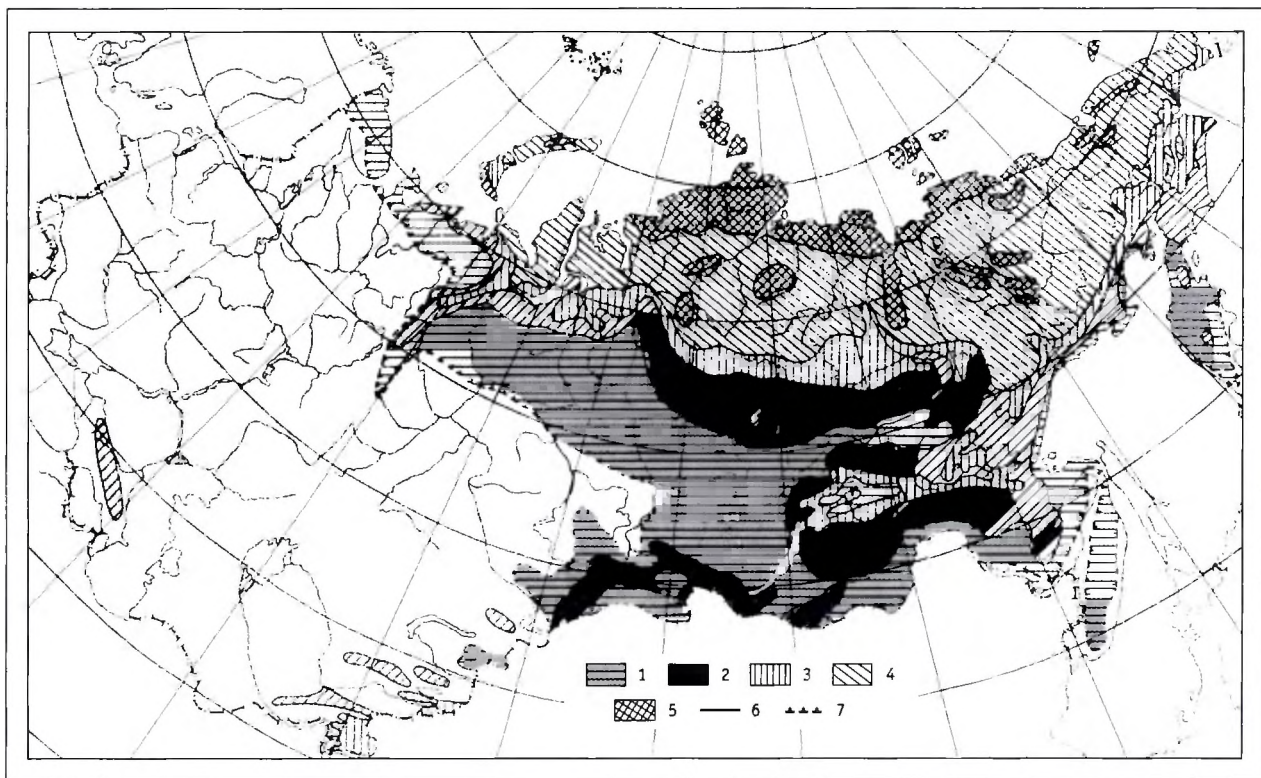


Рис. 4.1. Карта распространения многолетнемерзлых пород (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997; Водные ресурсы СССР и их использование, 1987):

1 — зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП со средними годовыми температурами (t_{cp}) от $+3$ до -10°C и мощностью (М) мерзлой толщи от 0 до 100 м; 2–5 — зона сплошного распространения ММП; 2 — t_{cp} от -1 до -30°C , М от 50 до 300 м; 3 — t_{cp} от -3 до -50°C , М от 100 до 400 м; 4 — t_{cp} от -5 до -90°C , М от 200 до 600 м; 5 — t_{cp} ниже 90°C , М от 400 до 900 м и более; 6 — граница зон ММП; 7 — южная граница криолитозоны

Таблица 4.7

Площади распространения и запасы воды в подземных льдах на территории Российской Федерации

Регионы	Район	Площадь ММП, км ²		Объем подземного льда, км ³	Запасы воды в подземных льдах, км ³
		общая	с подземными льдами		
Европейская часть с Уралом	Кольский	85 000	19 000	95,0	85,5
	Канин-Печорский и Большеземельский	167 900	67 200	202,0	181,8
	Северо-Уральский и Полярно-Уральский	107 600	43 000	43,0	38,7
	о. Новая Земля	81 300	58 000	29,3	26,37
	о. Земля Франца-Иосифа	16 000	2 400	0,24	0,216
По региону		467 800	190 200	369,54	332,6
Западная Сибирь	Южный	550 000	220 000	880	792,0
	Центральный	180 000	126 000	504	453,6
	Северный	240 000	192 000	1728	1555,2
По региону		970 000	538 000	3112	2800,8
Средняя Сибирь	Средне-Сибирское плоскогорье	2660 000	1330 000	2660	2394,0
	Лено-Виллюйский	650 000	455 000	1592	1432,8
	Северо-Сибирский	430 000	344 000	1032	928,8
	Быррангский	200 000	180 000	180	162,0
	Североземельский	60 000	33 000	1,65	1,485
По региону		4 000 000	2 342 000	5465,65	4919,1
Южные горы	Кавказский	(16 000)	(7495)	(11,24)	(10,116)
	Алтай-Саянский	437 200	262 000	393	353,7
По региону		453 200	269 495	404,24	363,8
Юго-Восток	Южно-Забайкальский	54 500	218 000	218,0	196,2
	Амуро-Охотский	835 000	417 500	835,0	751,5
	Сихотэ-Алинский	45 000	9 000	13,5	12,15
	Камчатский	230 000	46 000	69,0	62,1
	Северо-Забайкальский	575 000	345 000	690,0	621,0
По региону		2 230 000	1 035 500	1825,5	1643,0
Северо-Восток	Верхоянско-Чукотский	2 152 300	1 937 000	2906,0	2615,4
	Корякский	160 000	128 000	192,0	172,8
	Низменности Чукотки	120 000	96 000	384,0	345,6
	Яно-Колымский и Новосибирский	460 000	368 000	4416,0	3974,4
	о. Врангеля	7670	7520	11,3	10,17
По региону		2 899 870	2 536 520	7909,3	7118,4
По Российской Федерации		11 020 870	6 911 715	19 086,23	17 178

Мощность многолетнемерзлых горных пород изменяется от 3–4 м до 1200–1500 м. В высокогорных районах она может достигать 2000 м и более.

Подземные льды, как составная часть многолетнемерзлых горных пород, сосредоточены преимущественно в их верхнем 10–30-метровом слое (Втюрин, 1975; Гляциологический словарь, 1984).

Они являются одним из видов подземных вод, в связи с чем знание закономерностей их формирования и распространения, а также оценка запасов важны с точки зрения изучения и оценки водных ресурсов.

По ориентировочной оценке (см.: Втюрин, 1975), в Российской Федерации подземные льды распространены на площади 6,91 млн км² (табл. 4.7), что составляет более 62,8% площади многолетнемерзлых горных пород. Запасы воды в подземных льдах России составляют около 17,2 тыс. км³.

На территории многолетней мерзлоты часть водных ресурсов регулируется наледными процессами. Наледи речных и подземных вод здесь распространены повсеместно. Наибольшей наледностью характеризуются горные районы и в особенности северо-восточные районы России.

По ориентировочной оценке ежегодный объем наледей речных и подземных вод на территории Российской Федерации составляет 84,85 км³, а суммарная их площадь — 115 550 км².

На рис. 4.2 показано географическое распространение наледей по территории бывшего СССР.

Как видно из рис. 4.2 в основном все налееди распространены в пределах нашего государства. В горных системах государств Центральной Азии налееди речных вод распространены на площади 9620 км², а подземных — на 2630 км². Суммарная

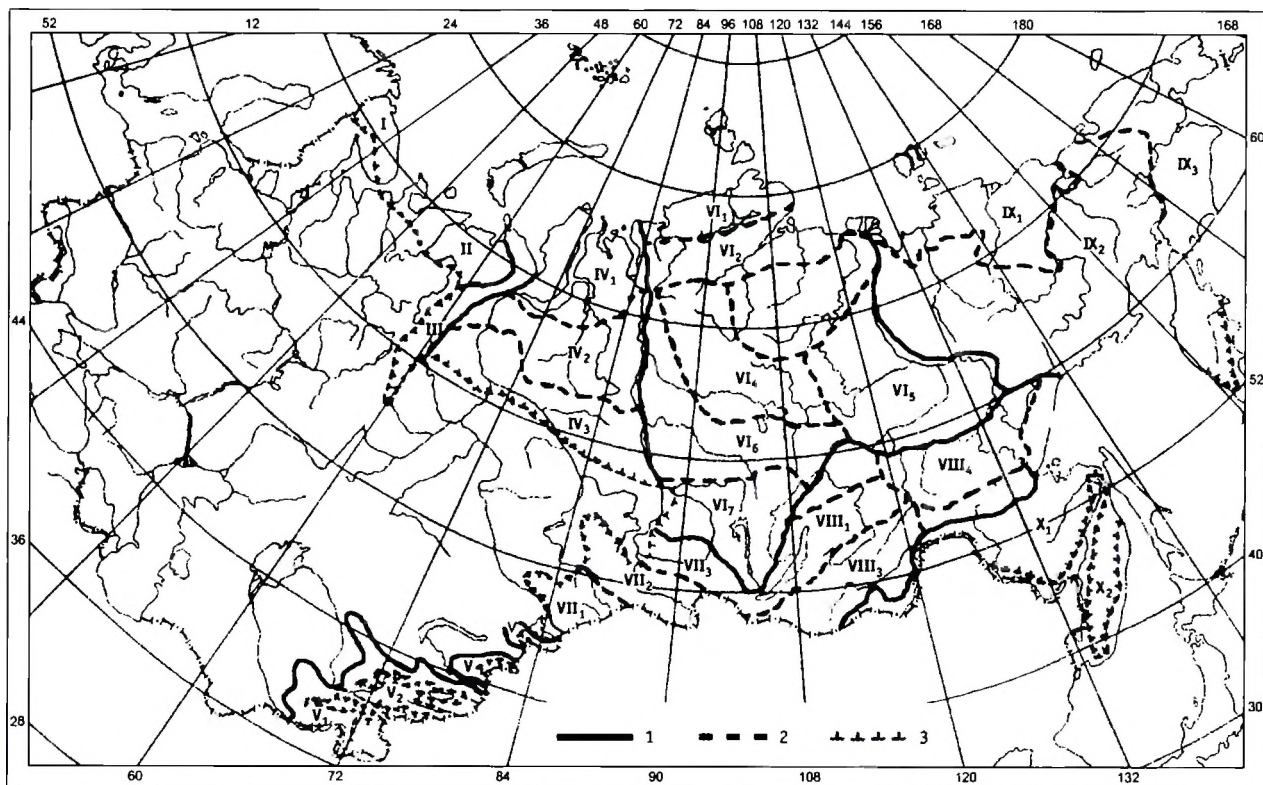


Рис. 4.2. Схема наледного районирования территории Российской Федерации и стран, входивших в состав бывшего СССР (Алексеев, 1987; Водные ресурсы СССР и их использование, 1987):

1 — граница наледных областей; 2 — граница наледных регионов; 3 — южная граница криолитозоны

площадь распространения наледей здесь равна 12250 км², что составляет лишь 10,6% от соответствующей площади их распространения в России.

Наледи играют заметную роль во внутригодовом (в отдельных случаях многолетнем) перераспределении ресурсов поверхностных и подземных вод.

В местах формирования наледей подземных вод ежегодно образуются инъекционные льды (гидролакколиты). В течение последующего теплого периода они, как правило, вытаивают, увеличивая речной сток. Объем инъекционных льдов составляет в среднем 15–20% объема наледей подземных вод.

4.12. ЗАПАСЫ ВОДЫ И ИХ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ

Все виды вод на Земле взаимосвязаны. Они расходуются и возобновляются в процессах Глобального гидрологического цикла. Скорость переноса

Таблица 4.8

Запасы воды на территории России и периоды их возобновления

Виды запасов вод	Запасы, км ³	Периоды возобновления, годы
Большие озера	24 855	120
Болота	1520	5
Почво-грунты	6430	1
Подземные воды в верхней части земной коры	2874 124	1400
Полярные ледники	13 470	9700
Ледники горных районов	133,1	1600
Подземные льды зоны многолетней мерзлоты	17 178	10000
Наледи речных и подземных вод	84,8	1 год и более
Вода в руслах крупнейших рек	116,5	несколько дней
Биологическая вода	130	несколько часов
Атмосферная влага	180	8 дней

(циркуляции) отдельных видов вод неодинакова. Поэтому время их расходования и возобновления весьма различно (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974; Водные ресурсы СССР и их использование, 1987).

Для территории Российской Федерации данные о запасах вод и об ориентировочных периодах их возобновления приводятся в табл. 4.8.

Из табл. 4.8 следует, что воды верхней части земной коры до уровня –2000 м возобновляются в течение 1400 лет.

Наиболее медленно возобновляются воды полярных ледников (9700 лет) и подземных льдов зоны многолетней мерзлоты — 10 000 лет.

Наиболее быстро возобновляются запасы биологической воды (в течение нескольких часов), атмосферной влаги (8 дней) и в руслах рек (в среднем около 16 дней).

Литература

- Алексеев В. Р.* Наледи. — Новосибирск: Наука, 1987. — 256 с.
- Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В. М. Котлякова. — 1997. — Т. II. — Кн. 2. — М.: Изд.-во ИГ РАН. — 270 с.
- Будыко М. И.* Эволюция биосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 488 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 301 с.
- Втюрин Б. И.* Подземные льды СССР. — М.: Наука, 1975. — 212 с.
- Гляциологический словарь. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 528 с.
- Кузнецова Л. П.* Перенос влаги в атмосфере над территорией СССР. — М.: Наука, 1978. — 91 с.
- Кузнецова Л. П.* Атмосферный влагообмен над территорией СССР. — М.: Наука, 1983. — 171 с.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / Под ред. В. И. Корзуна, А. А. Соколова. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 638 с.
- Соколов А. А.* Гидрография СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1964. — 535 с.

Глава 5

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ И БАССЕЙНОВ МОРЕЙ РОССИИ

5.1. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ И ЕЕ РАЗВИТИЕ

Гидрологическая сеть России является одной из старейших, хорошо развитых сетей в мире, которая прошла почти 100-летний путь развития. В 1910 г. на европейской территории России (ЕТР) функционировало 263 поста (рис. 5.1), а плотность сети составляла 16 256 км² на один пост (рис. 5.2). На Азиатской территории России действовало всего 88 постов, и плотность сети составляла 145 066 км² на один пост. Эти посты располагались в основном на крупных судоходных реках. Единого плана развития гидрологической сети и научно-методического обеспечения выполнения измерений элементов гидрологического режима в тот период не существовало.

Работы по созданию системы гидрологических наблюдений были начаты после организации в 1919 г. ГГИ. В последующий период в институте

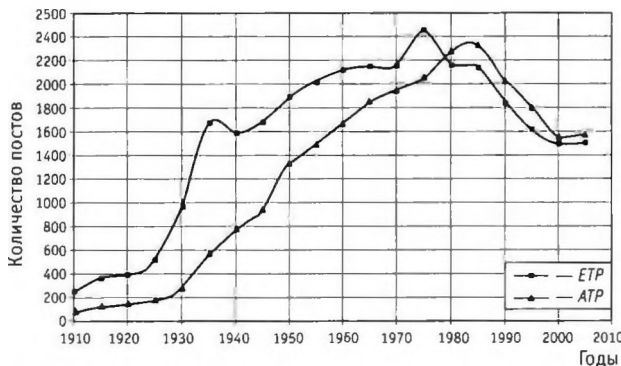


Рис. 5.1. Динамика количества гидрологических постов на ЕТР и АТР с 1910 по 2006 г.

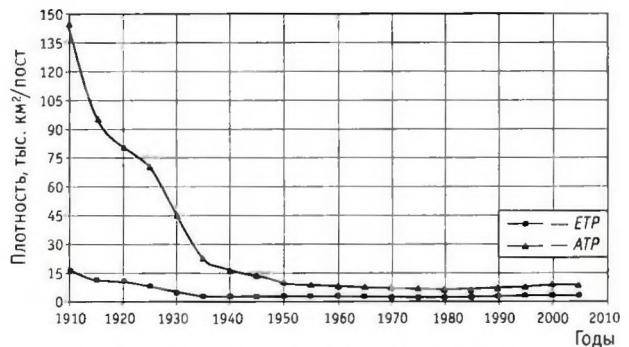


Рис. 5.2. Динамика плотности гидрологических постов (км²/пост) на ЕТР и АТР за период с 1910 по 2006 г.

были разработаны как теоретические положения развития сети наблюдений на реках, озерах и временных водотоках, так и перспективные планы развития этой сети; созданы важнейшие нормативные документы, такие как «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам», регламентирующие измерения, обработку, обобщение и публикацию данных наблюдений; созданы приборы и оборудование для выполнения измерений.

Требования к полноте и достоверности, составу гидрологической информации за прошлый период постепенно возрастали в связи с развитием гидротехнического строительства, транспорта, с освоением новых территорий и месторождений полезных ископаемых, строительством населенных пунктов, развитием сельского хозяйства, необходимостью обеспечения экологической безопасности России и охраны водных ресурсов и объектов.

Первый проект организации опорной сети для европейской части России был разработан ГГИ в 1921 г., а последующие проекты — в 1924 и 1928 гг. В их основу была положена идея организации опор-

ной сети для изучения общих закономерностей гидрологического режима с целью развития науки и для решения практических задач на государственном уровне.

Предусматривалось распространение опорной сети на всю территорию СССР и организация наблюдательных пунктов трех разрядов в зависимости от состава и объема работ и специализации станций. При этом информация опорной гидрологической сети использовалась как для составления оперативных прогнозов, так и для режимных целей.

В 1934 г. в ГГИ на основе географо-гидрологического метода, разработанного В. Г. Глушковым, был составлен усовершенствованный проект развития гидрологической сети. В его основу были положены следующие основные принципы:

- опорная сеть предназначается в основном для изучения режима естественных водных объектов;
- водные объекты и участки наблюдений на них должны быть репрезентативными;
- размещение и плотность гидрологической сети должны удовлетворять требованиям пространственной и линейной интерполяции характеристик гидрологического режима, а период их действия должен быть неограничен;
- сроки и программа наблюдений, приборы, оборудование и методы измерений, анализа и обобщения наблюдений должны быть унифицированы.

Данные наблюдений, полученные на постах такой сети, должны были обеспечить возможность определения характеристик основных элементов гидрологического режима не только для изученных, но и для неизученных рек.

В последующих проектах развития гидрологической сети в СССР эти основные положения получили теоретическое и практическое развитие. Проекты сети составлялись в 1940, 1946, 1970 и 1975 гг. По различным причинам полностью они не были осуществлены. Главными принципами проекта 1940 г. предусматривалось: равномерное освещение наблюдениями всей территории СССР; возможность пространственной интерполяции основных гидрологических характеристик с требуемой для практики точностью; размещение гидрологических постов по различным схемам в зависимости от размеров рек.

Основным же принципом построения режимной гидрологической сети в России, начиная с периода 1920—1936 гг. и по настоящее время, является размещение постов на характерных зонально-репре-

зентативных бассейнах, а также на больших и малых реках, на основе гидрологического районирования. Применяются различные схемы размещения: площадная — для средних зонально-репрезентативных рек, линейная — для больших рек, кустовая — для малых (азональных) рек.

Данные гидрологических наблюдений должны обеспечивать расчет и прогноз гидрологических характеристик для конкретных бассейнов с учетом их площади водосбора и физико-географических особенностей территории. Для этого гидрологическая сеть должна освещать влияние на гидрологический режим водных объектов основных зональных и аazonальных факторов и аномалий природных условий данного района.

Существующие методы расчетов характеристик стока с неизученных бассейнов и бассейнов с короткими периодами наблюдений основываются на применении метода гидрологической аналогии. Поэтому при решении вопросов достаточности и оптимизации гидрологической сети ключевым критерием является возможность подбора надежных аналогов к неизученным рекам района.

В качестве критерия достаточности гидрологической сети используют точность интерполяции измеренных характеристик стока в произвольную точку пространства между пунктами наблюдений. При этом из-за ограниченности вычислительных возможностей компьютеров того времени и отсутствия комплексных баз данных по основным гидрологическим и морфометрическим характеристикам в расчетах использовались только значения годового стока рек.

При решении практических задач используют различные характеристики стока воды и других элементов гидрологических наблюдений. Поэтому анализ данных о годовом стоке не дает достаточных оснований для решения задач оптимизации гидрологической сети. При этом наибольшее практическое значение имеют характеристики максимального и минимального стока, которые и должны приниматься во внимание в первую очередь.

В целом гидрологическая сеть развивалась планомерно, и уже к 1930 г. количество гидрологических постов увеличилось более чем в три раза и достигло на ЕТР 973 постов (с плотностью сети до 4394 км² на 1 пост), а на АТР — 285 постов (с плотностью сети до 44 792 км² на 1 пост). В 1980 г. на ЕТР функционировало 2170 постов (с плотностью сети до 2279 км² на 1 пост). Плотность сети уже приближалась к рекомендациям Всемирной метео-

рологической организации (1875 км²/пост для равнинных территорий).

Наибольшего развития стандартная гидрологическая сеть достигла к 1986 г., когда ее численность составила 4440 постов, из них речных — 3926 и озерных — 514.

Кроме стандартной сети широко используется специализированная сеть наблюдений за элементами водного баланса на малых водосборах. В ее состав входят воднобалансовые, болотные станции и испарительные площадки.

Техническое оснащение стандартной и специализированной сетей в период до 1985 г. соответствовало мировому уровню.

К 1991 г., в связи с переходом России на рыночную экономику, финансирование работ на гидрологической сети резко уменьшилось, что привело к сокращению количества постов до 3053. В настоящее время отмечается относительная стабилизация и даже небольшой рост количественного состава гидрологической сети за последние годы.

По состоянию на 1 сентября 2006 г. в России функционирует 3084 гидрологических поста, из них 2729 — речных и 354 — озерных (табл. 5.1 и рис. 5.3). В среднем за период с 1986 г. гидрологическая сеть сократилась на 30,3%. Однако в районах Крайнего Севера, Сибири, на Дальнем Востоке сокращение значительно больше постов.

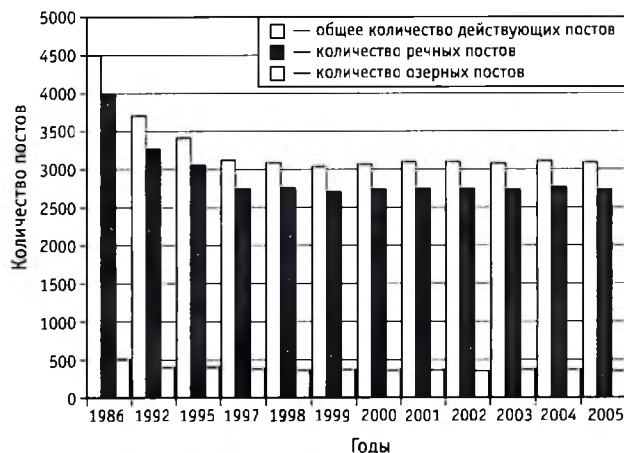


Рис. 5.3. Количество действующих гидрологических постов РФ на 1 сентября 2006 г.

Распределение гидрологических постов по УГМС Росгидромета показано в табл. 5.2, а по территории Федеральных округов ЕТР — на (см. цв. вкл., рис. 4 (по АТР электронная карта составляется).

Изменение количества гидрологических постов Росгидромета за период с 1986 г. по 1 сентября 2006 г.

Год	Количество действующих постов	В том числе	
		речных	озерных
1986	4481	3967	514
1992	3670	3262	408
1995	3423	3037	386
1997	3114	2752	362
1998	3089	2733	356
1999	3053	2703	350
2000	3059	2708	351
2001	3054	2703	351
2002	3064	2714	350
2003	3068	2717	351
2004	3086	2732	354
2005	3086	2731	355
2006	3084	2729	355

Обеспечение гидрологических работ на сети постов осуществляют 23 Межрегиональных территориальных управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) и Калининградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Калининградский ЦГМС), который, в связи с удаленностью Калининградской области, выполняет функции самостоятельного УГМС, поэтому в дальнейшем ссылки приводятся для 24-х УГМС.

Данные наблюдений и измерений, систематически получаемые на гидрологической сети Росгидромета, обрабатываются, анализируются на сети гидрологических станций, обобщаются в ЦГМС или УГМС и представляются в изданиях Государственного водного кадастра в виде Гидрологических ежегодников. В 1970-е гг. в системе Росгидромета было выполнено фундаментальное обобщение всех данных гидрологических наблюдений за многолетний период по всем изученным рекам бывшего СССР, которое по полноте, достоверности данных, подробности обобщения не имеет аналогов в мировой литературе. Результаты обобщения представлены в более чем 120 фундаментальных монографиях, в которых приведены (в табличном виде) морфометрические характеристики речных водосборов и сведения о годовом, среднем месячном, максимальном, минимальном стоке воды, наносов, мутности рек, уровнях, ледово-термическом режиме и качестве вод, и (в виде карт) распределения основных гидрологических характеристик по территории бывшего СССР. Такой подход позволил

Действующая сеть гидрологических постов Росгидромета на 1 сентября 2006 г.

УГМС	Количество действующих постов в 2005 г.			Из них									
				ГП1	с изменением наносов	информационные		реперные		основные		дополнит.	
	всего	ГП	ОГП			ГП	ОГП	ГП	ОГП	ГП	ОГП	ГП	ОГП
Башкирское	68	58	10	50	17	45	5	21	5	36	5	1	—
Верхне-Волжское	111	94	17	83	22	87	17	27	1	53	13	14	3
Дальневосточное	155	151	4	86	20	111	4	64	—	70	4	17	—
Забайкальское	188	177	11	151	42	119	5	114	8	58	3	5	—
Западно-Сибирское	221	196	25	170	72	102	9	81	5	72	13	43	7
Иркутское	183	138	45	101	37	87	37	70	26	57	18	11	1
Калининградский ЦГМС	15	15	—	13	1	4	—	7	—	7	—	1	—
Камчатское	85	85	—	81	26	33	—	51	—	8	—	26	—
Колымское	43	39	4	27	7	29	—	12	1	25	1	2	2
Мурманское	55	40	15	40	1	30	15	19	9	21	6	—	—
Обь-Иртышское	160	145	15	95	36	92	—	63	2	68	6	13	7
Приволжское	102	83	19	73	48	60	16	26	6	37	11	20	2
Приморское	74	71	3	55	13	66	3	41	1	28	2	4	—
Сахалинское	41	41	—	37	4	25	—	17	—	22	—	2	—
Северное	228	216	12	172	6	180	10	94	10	105	1	17	1
Северо-Западное	225	182	43	162	8	77	31	71	16	87	20	24	7
Северо-Кавказское	248	232	16	194	134	114	11	88	4	109	12	35	—
Среднесибирское	220	195	25	159	71	122	15	75	9	119	16	1	—
Республика Татарстан	31	19	12	19	7	16	12	5	4	13	8	1	—
Уральское	145	116	29	95	—	98	23	39	11	57	13	20	5
Центральное*	197	163	34	121	27	108	20	59	9	91	20	13	5
ЦЧО	87	84	3	76	26	67	2	33	—	42	3	9	—
Чукотское	18	18	—	12	7	15	—	9	—	7	—	2	—
Якутское	184	171	13	119	48	117	6	79	4	54	7	38	2
Всего:	3084	2729	355	2191	680	1804	241	1165	131	1244	182	319	42

Примечание. * Данные приведены с учетом изменений в Калужском, Тверском, Смоленском и Ярославском ЦГМС.

получить сведения об основных гидрологических характеристиках не только изученных, но и неизученных рек.

Одной из ближайших задач, связанных с обработкой, анализом и обобщением материалов наблюдений гидрологической сети, является дополнение рядов наблюдений данными, полученными за последние 30 лет, с повторным определением основных гидрологических характеристик за многолетний период. Ряды наблюдений за многолетний период весьма необходимы как для усовершенствования моделей прогнозов в каждом из 24-х УГМС, так и для повышения надежности оценки водных ресурсов и гидрологических расчетов с целью обоснования строительного проектирования и обеспечения гидрологической информацией различных проектов по водообеспечению и снижению небла-

гоприятного антропогенного воздействия на водные объекты.

В то же время анализ современного состояния гидрологической сети Росгидромета показал, что уровень технического и технологического оснащения сети не в полной мере отвечает рекомендациям ВМО и не позволяет в полном объеме и с требуемым качеством решать задачи в области оперативной гидрологии. Функционирующая в настоящее время сеть гидрологических станций и постов требует существенной модернизации, а для паводкоопасных районов — создания принципиально новой гидрологической сети, основанной, преимущественно, на использовании автоматизированных систем наблюдений. Особенно актуальной задачей модернизации гидрологической сети является в связи с увеличением числа опасных наводнений, что тре-

бует создания не только современной, надежно функционирующей системы наблюдений за режимом вод суши, но также и новых методов и технологий прогнозирования наводнений.

Для решения вышеперечисленных задач в настоящее время в Росгидромете совместно с Международным банком развития осуществляется проект «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета», в котором, в частности, предполагается техническое оснащение бассейнов трех рек — Кубань, Уссури и Оки — для надежного обеспечения прогнозирования дождевых паводков и весеннего половодья с использованием современных автоматизированных методов. Кроме того, предусматривается дооснащение новыми техническими средствами целого ряда постов всех УГМС Росгидромета.

5.2. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

5.2.1. Общие сведения

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы речных бассейнов формируются в результате взаимодействия климатических факторов (в первую очередь атмосферных осадков и солнечной радиации) с факторами подстилающей поверхности (рельефом, наличием озер, лесов, болот, гидрогеологическими условиями и др.).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы речных и озерных бассейнов, в отличие от медленно возобновляемых (запасов), являются наиболее доступными для их использования. Они являются природным даром, и поэтому их необходимо рационально использовать и охранять от загрязнения и истощения.

Во всем мире оценка ежегодно возобновляемых водных ресурсов рек производится на гидрологических станциях и постах путем измерения расходов воды. Измеренные расходы за отдельные дни пересчитываются в ежедневные, ежемесячные и годовые значения. Однако в большинстве стран мира гидрологическая сеть наблюдений является довольно редкой, существуют регионы, где она вообще отсутствует, поэтому для оценки водных ресурсов широкое применение находят различные расчетные методы.

Бывший Советский Союз располагал обширной сетью хорошо оснащенных гидрологических станций (более 6000 пунктов наблюдений). Несмотря на такую большую сеть станций и постов, в стране, имеющей наибольшую площадь территории в мире, имеется довольно много регионов, на реках которых расходы воды вообще не измеряются. Наличие указанных территорий приводило раньше и приводит в настоящее время, когда сеть гидрологических станций и постов существенно сократилась, к необходимости разработки расчетных методов оценки водных ресурсов речных бассейнов, бассейнов морей и других территорий. Такая же проблема стоит и перед многими странами мира, имеющими немногочисленную сеть гидрологических станций и постов. Российские ученые являются основоположниками разработки различных эмпирических методов оценки стока рек в неизученных бассейнах (см. напр.: Великанов, 1940; Поляков, 1946; Крицкий, Менкель, 1950; Соколовский, 1959).

Обобщение мирового опыта оценки водных ресурсов на нашей планете, сделанные в монографии «World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century» (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003), показывает, что для оценки средних многолетних значений водных ресурсов иногда используется уравнение водного баланса следующего вида:

$$Y = P - E, \quad (5.1)$$

где Y — речной сток, P — атмосферные осадки, E — испарение.

В связи с тем, что во многих странах сеть наблюдений за атмосферными осадками и испарением довольно редкая и не соответствует критериям, обеспечивающим достоверность оценок, а расчетные методы определения испарения за отдельные годы имеют очень большие погрешности, определение речного стока по выражению (5.1) крайне ненадежно. Особенно большие погрешности в оценках водных ресурсов характерны для многих засушливых территорий, так как суммы осадков и испарения здесь близки между собой, а средняя квадратическая погрешность их разности соизмерима с самой величиной стока.

Для оценки водных ресурсов речных бассейнов за отдельные годы в странах мира и в нашей стране иногда используют регрессионный метод. Этот метод заключается в построении уравнений регрессии стока рек в зависимости от метеорологических факторов (атмосферные осадки, температура воздуха,

дефицит влажности воздуха и др.) следующего вида:

$$y_i = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + a_0, \quad (5.2)$$

где a_0, a^1, \dots, a_n — параметры, а x_1, \dots, x_n — метеорологические элементы.

Параметры уравнения 5.2 определяются с использованием метода наименьших квадратов при выполнении условия:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^1)^2 = \min, \quad (5.3)$$

где N — число лет, y_i — наблюдаемый сток, y_i^1 — расчетные значения стока.

Теснота связи стока с исследуемыми факторами (уравнение 5.2) оценивается полным (общим, сводным) коэффициентом множественной линейной корреляции для какой-либо территории по выражению:

$$R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{00}}}, \quad (5.4)$$

где D — определитель порядка $n+1$ (число строк или, что то же самое, число столбцов) корреляционной квадратной матрицы A , содержащей $(n+1)^2$ элементов

$$A = \begin{vmatrix} 1 & r_{01} & r_{02} & \dots & r_{0n} \\ r_{10} & 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{20} & r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n0} & r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad (5.5)$$

а D_{00} — минор этого определителя.

Параметры регрессионного выражения (5.2) находятся по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= -\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \cdot \frac{D_{01}}{D_{00}} \\ &\dots \\ a_n &= -\frac{\sigma_0}{\sigma_n} \cdot \frac{D_{0n}}{D_{00}} \end{aligned} \right\}, \quad (5.6)$$

где D_{01}, \dots, D_{0n} — алгебраические дополнения, соответствующие элементам корреляционной матрицы r_{01}, \dots, r_{0n} , σ_0 — среднее квадратическое отклонение стока y , $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ — средние квадратические отклонения метеорологических факторов x_1, \dots, x_n .

Параметр a_0 равен алгебраической сумме среднего за расчетный период значения стока и произ-

ведений параметров a_i на соответствующие отрицательные средние значения факторов.

Все характеристики и параметры при использовании регрессионного уравнения оцениваются средними квадратическими ошибками. Стандартная ошибка S уравнения (5.2) оценивается по формуле:

$$S = \sigma_0 \sqrt{1 - R^2}. \quad (5.7)$$

Средняя квадратическая ошибка полного коэффициента корреляции равна:

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{N - n}}. \quad (5.8)$$

Средняя квадратическая ошибка параметра a_i в уравнении (5.2) определяется по формуле:

$$\sigma_{a_n} = \sqrt{\frac{N \cdot S^2 \cdot D'_{nn}}{(N - n) D'}}, \quad (5.9)$$

где D'_{nn} — минор определения D' , равного

$$D' = \begin{vmatrix} N\sigma_1^2 & N\sigma_1\sigma_2r_{21} & \dots & N\sigma_1\sigma_n r_{n1} \\ N\sigma_2\sigma_1r_{12} & N\sigma_2^2 & \dots & N\sigma_2\sigma_n r_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N\sigma_n\sigma_1r_{1n} & N\sigma_n\sigma_2r_{2n} & \dots & N\sigma_n^2 \end{vmatrix}. \quad (5.10)$$

Из приведенных выражений видно, что средние квадратические ошибки полного коэффициента корреляции, параметров регрессий и всего уравнения (5.2) тем меньше, чем значительнее длина стокового ряда превышает число факторов n .

В частности, при построении регрессионных уравнений учитывается, что длина стокового ряда должна в 2 и более раза превышать число факторов.

Параметры уравнений регрессии являются достоверными (надежными) в том случае, если их погрешности в 1,5–3,0 раза меньше значений самих регрессионных коэффициентов, а погрешность S (выражение 5.7) минимальна.

Некоторым усложнением регрессионной модели является так называемая последовательная комплексная регрессия. Суть этой разновидности регрессионного метода состоит в оценке комбинированных факторов с последующим построением регрессионного уравнения речного стока от этих аргументов.

Модели комплексной регрессии напоминают модели факторного анализа. Этот анализ представ-

лен двумя самостоятельными ветвями: компонентный анализ (метод главных компонент) и собственный факторный анализ (Бабкин и др., 1972).

В отличие от регрессионного метода, где аргументы выступают в качестве факторов стока, в рассматриваемой модели факторы неизвестны, а лишь известны многие их признаки. Задача сводится к отысканию этих факторов через признаки и, возможно, к их интерпретации. Признаками водных ресурсов являются гидрографические, орографические, географические и климатические характеристики.

Из всего набора признаков методами оптимизации определяются факторы Φ_r по разложению:

$$x_i = \sum_{r=1}^k l_{ir} \Phi_r + e_i, \quad (5.11)$$

где l_{ir} — нагрузка i -го признака на r -й фактор.

Это выражение справедливо для факторной модели, а для компонентной (метод главных компонент) случайные остатки e_i в этом разложении отсутствуют. То есть различие рассматриваемых двух ветвей одной модели состоит в том, что в компонентной дисперсия всех признаков постепенно исчерпывается дисперсиями компонент, а в факторной — предполагается наличие остатков e_i .

Оптимизационная процедура сводится к тому, чтобы получить в первых двух-трех компонентах (либо факторах) до 90% всей обобщенной информации (дисперсии переменных). С указанными компонентами (факторами) в принципе легко строятся зависимости стока.

Факторный анализ в бывшем Советском Союзе использовался лишь в работе ГГИ (Бабкин, Тусев, Румянцев, 1972) при оценке водных ресурсов бассейна Дона.

Регрессионный метод и метод факторного анализа требуют для своей реализации, помимо стока, привлечения большого объема метеорологических данных. Поэтому они не получили широкого распространения на практике. В настоящее время их использование для оценки водных ресурсов речных бассейнов и бассейнов морей весьма проблематично, поскольку такие данные стоят весьма дорого.

При оценке водных ресурсов в виде слоя (мм) воды в Государственном гидрологическом институте впервые был разработан и апробирован метод интегрального осреднения поверхностей стока (Бабкин, Гусев, Новикова, 1974). В дальнейшем

этот метод использовался при оценках водных ресурсов бассейнов рек Печора, Кама, Лена. Суть метода заключается в оценке на исследуемой территории (речной бассейн, бассейн моря и другие территории) среднего значения слоя стока h по выражению:

$$h = \frac{1}{S} \iint_S f(x, y) dx dy, \quad (5.12)$$

где S — площадь территории, x, y — прямоугольные координаты ее центра.

Из выражения (5.12) следует, что для оценки среднего значения стока необходимо за годовой интервал времени определить функцию $f(x, y)$ — поверхность стока.

Рассматриваемая методика позволяет производить оценку водных ресурсов не только в случаях, когда сток изменяется по территории зонально, но и при наличии его анизотропного поля (т. е. при наличии влияния на сток многих факторов, например, факторов подстилающей поверхности: лесистости, озерности, заболоченности, рельефа местности и др.), без учета метеорологических факторов.

Апробация данного метода на бассейнах рек Дон, Кама и Печора показала высокую его эффективность. Погрешности расчетных значений от наблюдаемых находились в пределах 1–7%. Однако использование его в массовых расчетах затруднено, так как необходимы более подробные данные по средним высотам речных бассейнов. Для больших бассейнов данных о средних высотах водосборов практически нет. Ниже излагаются методические подходы, разработанные в ГГИ для производства массовых расчетов по оценке ежегодно возобновляемых водных ресурсов речных бассейнов и бассейнов морей.

5.2.2. Метод линейных уравнений стока

Оценка водных ресурсов речных водосборов и бассейнов морей в бывшем СССР проводилась неоднократно (см., напр.: Воскресенский, 1962). Наиболее полные данные по водным ресурсам бассейнов морей приводятся в изданиях ГГИ (Водные ресурсы..., 1967; Водные ресурсы СССР..., 1987).

Оценка и обобщение данных по водным ресурсам речных водосборов и бассейнов морей Российской Федерации выполнены впервые.

За последние 40 лет XX в. в связи с ростом водопотребления и безвозвратными потерями стока в различных районах Российской Федерации водные ресурсы многих рек претерпели значительные изменения. Наибольшие преобразования стока произошли в южных засушливых районах в связи с интенсивной хозяйственной деятельностью в бассейнах рек.

В бассейнах северных и дальневосточных морей безвозвратные потери стока отмечаются только на отдельных реках, вследствие этого на большей части территории Российской Федерации водные ресурсы бассейнов морей равны притоку поверхностных вод в эти моря.

Средние многолетние водные ресурсы бассейнов рек и морей Европейской территории Российской Федерации рассчитаны за период с 1930 по 2005 г., а по бассейнам сибирских и дальневосточных морей — за период с 1936 по 2005 г.

Водные ресурсы оценивались для территорий России, на которых они формируются в бассейне рассматриваемого моря (реки) (местные водные ресурсы), а также определялась общая величина водных ресурсов (с учетом поступления вод с зарубежной территории).

Водные ресурсы бассейна какого-либо моря оценивались по водным ресурсам его основных рек, на которых измеряются расходы воды, с учетом данных о стоке с неизученной территории и с междуречных пространств.

Водные ресурсы бассейнов морей, формирующиеся на территории Российской Федерации (местные водные ресурсы), являются суммарными водными ресурсами рек и водотоков, относящихся к водосбору каждого моря нашей страны. Суммарные водные ресурсы рек и водотоков, принадлежащих бассейну данного моря, но формирующиеся на территории сопредельных с Россией государств, являются притоком вод из-за границы. Общие водные ресурсы бассейна моря представляют собой сумму местных водных ресурсов и притока вод из-за рубежа.

Для оценки характеристик ежегодно возобновляемых водных ресурсов речных водосборов и бассейнов морей (местный сток, приток из-за границы и общие ресурсы) были использованы линейные уравнения следующего вида:

$$Y = 3,154 \cdot 10^{-2} (k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_n Y_n), \quad (5.13)$$

где Y — характеристика водных ресурсов, км³, k_1, k_2, \dots, k_n — коэффициенты, позволяющие учесть

несоответствие между водными ресурсами бассейна какой-либо реки до гидрометрического створа и всего ее бассейна.

При определении коэффициентов линейных уравнений k использовался один из следующих приемов (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987):

— интерполяция нормы стока реки по ее длине;

— определение стока с неизученной территории по карте изолиний норм стока (гл. 3);

— оценка стока с неизученной территории методом гидрологической аналогии.

Для оценки естественных водных ресурсов водосборов рек и бассейнов морей использованы данные Информационно-аналитического центра Государственного водного кадастра (ИАЦ ГВК), справочники «Ресурсы поверхностных вод СССР» (1966), «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» (1982–2006), Гидрологические ежегодники и другие издания (1936–1990).

Для оценки естественных водных ресурсов бассейнов рек и южных морей, в которых большое влияние на сток оказывает хозяйственная деятельность, его значения приводились к естественным условиям формирования, то есть осуществлялось восстановление стока. Указанное восстановление осуществлялось с использованием следующих методов: 1) построение регрессионных уравнений стока с метеорологическими факторами за период отсутствия существенного влияния на него хозяйственной деятельности. Полученное уравнение использовалось для оценки водных ресурсов в годы с существенной антропогенной деятельностью; 2) построение руслового водного баланса с учетом данных по заборам, сбросам вод, ущербу речному стоку вследствие использования подземных вод, гидравлически связанных с речным стоком. Данные по использованию речных вод получены из изданий Государственного водного кадастра «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество», «Основные гидрологические характеристики», Гидрологических ежегодников.

Вследствие отсутствия гидрометрических наблюдений на большинстве островов России оценка их водных ресурсов произведена приближенно с использованием карт норм атмосферных осадков и испарения.

5.3. КРУПНЕЙШИЕ РЕЧНЫЕ БАССЕЙНЫ

Вследствие разнообразия природных особенностей нашей страны, которая располагается в пределах различных географических зон: от арктической — на побережье и островах Северного Ледовитого океана — до субтропической — на Черноморском побережье Кавказа, распределение ресурсов поверхностных вод по территории Российской Федерации крайне неравномерно и во многих случаях не соответствует плотности населения и размещению промышленности и сельского хозяйства. В европейской части России, где сосредоточено 80% населения страны, водные ресурсы рек оцениваются в 897 км³, что составляет всего 21% суммарных водных ресурсов нашего государства. В наиболее засушливых южных районах европейской части России, занимающих 0,04 части ее территории и пригодных по климатическим условиям для производства многих ценных сельскохозяйственных культур, формируется лишь 1,3% водных ресурсов.

Наиболее полноводные реки Российской Федерации — Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Лена, Яна, Индигирка, Колыма и Амур — протекают в экономически менее освоенных и слабообжитых районах.

В пределах России значения стока равнинных рек уменьшаются по направлению от северных

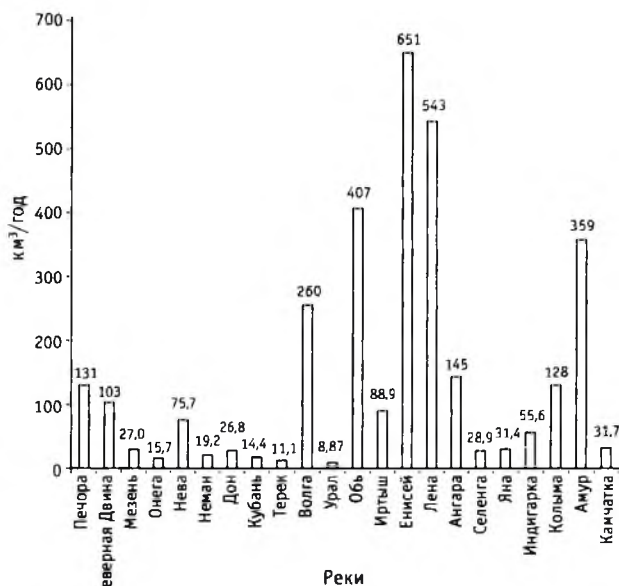


Рис. 5.4. Водные ресурсы крупнейших речных бассейнов Российской Федерации

районов к южным, а в горах — увеличиваются в соответствии с высотой местности. Значения годового слоя стока на территории нашего государства колеблются от 2000–3000 мм (горные районы Кавказа и Камчатки) до 10–5 мм и менее (полупустынные районы Прикаспийской низменности) (см. рис. 3.7).

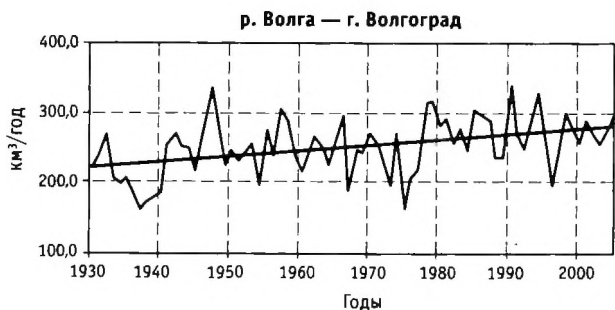
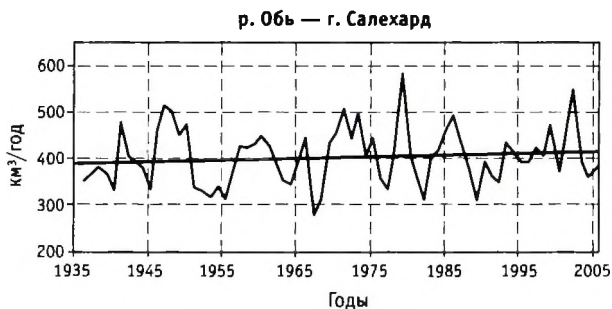


Рис. 5.5. Многолетние колебания водных ресурсов рек Терек (1930–2005 гг.), Волга (1930–2005 гг.), Обь (1936–2005 гг.)

Территория Российской Федерации по гидрографии относится к бассейнам Северного Ледовитого (70,6%), Атлантического (4,6%) и Тихого (14,0%) океанов. Площадь областей внутреннего стока, не имеющих выхода в океан, составляет 10,8%.

Большая часть речных вод принадлежит к бассейнам Северного Ледовитого (69,6% стока рек) и Тихого (20%) океанов. Сток только четырех рек этих бассейнов — Енисей, Лены, Оби и Амура — составляет 47,6% всего объема речного стока с территории Российской Федерации. Из общей площади областей внутреннего стока, составляющей около 10,8% территории России, 9,8% приходится на бассейн Каспийского моря. Величина стока с этих территорий составляет около 6,9% суммарного стока рек России.

В табл. 5.3 и на рис. 5.4 приводятся данные о водных ресурсах и их изменчивости для 22 крупнейших речных бассейнов страны. Для каждого бассейна рассчитаны и колебания водных ресурсов по годам за весь период наблюдений. На рис. 5.5 в качестве примера показаны колебания во времени стока 3-х речных бассейнов: Терека, Волги и Оби.

Анализ данных, приведенных в табл. 5.3, показывает, что наибольшей водностью обладает р. Енисей (651 км^3 в год), в бассейне которой, занимающей 15% территории страны, формируется 15,8% водных ресурсов России, имеющих наименьшую изменчивость ($C_v = 0,08$).

Наибольший объем стока в этом бассейне формируется в верховьях реки (в Саянах) и на ее притоках: Ангаре (145 км^3), Подкаменной Тунгуске ($55,2 \text{ км}^3$) и Нижней Тунгуске (118 км^3).

Лена, вторая по водности река в Российской Федерации, выносит в море Лаптевых 543 км^3 воды в год, что составляет 13,2% водных ресурсов России. Изменчивость стока Лены невелика: $C_v = 0,12$. Основная часть стока поступает в Лену по четырем крупным притокам: Витиму ($69,1 \text{ км}^3$), Олёкме ($58,4 \text{ км}^3$), Аддану (161 км^3) и Вилюю ($46,3 \text{ км}^3$).

Река Обь выносит в Обскую губу Карского моря 407 км^3 воды в год. Коэффициент вариации стока Оби $C_v = 0,15$. Основная часть ее стока формируется в горах Алтая. Водные ресурсы крупнейшего притока Оби — Иртыша — составляют $88,9 \text{ км}^3$.

Водные ресурсы р. Амур составляют $359 \text{ км}^3/\text{год}$, из них 166 км^3 (46%) формируется за счет ее притоков: Зеи, Буреи, Сунгари и Уссури. Изменчивость стока Амура составляет 0,20.

Водные ресурсы Волги — самой многоводной реки европейской части Российской Федерации —

равны 260 км^3 . Более половины этого объема (156 км^3) формируется в бассейнах двух ее крупнейших притоков — Камы и Оки. Большая часть бассейна Волги расположена в увлажненной зоне. Коэффициент вариации ее стока: $C_v = 0,17$.

Водные ресурсы крупнейших речных бассейнов Российской Федерации, приводимые в табл. 5.3, определены для бассейнов в целом, а не для замыкающих створов рек. Параметры перехода от расчетного створа, в котором наиболее достоверно оценен речной сток, к его значению в целом, для ряда рек России приведены в табл. 5.4. Из рассмотрения данных этой таблицы следует, что сток в замыкающем створе реки может существенно отличаться от ее водных ресурсов. Например, сток р. Мезень в створе у д. Малонисогорская на 35,8% меньше, чем в устье, р. Иртыш у г. Тобольска — на 32%, р. Ангара у с. Богучаны — на 30% меньше, а р. Колыма у г. Среднеколымска — на 81,7% меньше, чем в устье.

Поэтому оценки водных ресурсов и притока вод в океаны по данным о стоке рек в замыкающих створах, которые иногда приводятся за рубежом,

Таблица 5.3

Водные ресурсы крупнейших речных бассейнов России ($\text{км}^3/\text{год}$) за период наблюдений, начиная с 1930-х гг.

№ п/п	Речной бассейн	Период наблюдений	Водные ресурсы, км^3	Коэффициент изменчивости, C_v
1	Печора	1930–2005	131	0,15
2	Северная Двина	1930–2005	103	0,16
3	Мезень	1930–2005	27,0	0,16
4	Онега	1930–2005	15,7	0,20
5	Нева	1930–2005	75,7	0,16
6	Неман	1930–2005	19,2	0,16
7	Дон	1930–2005	26,8	0,33
8	Кубань	1930–2005	14,4	0,18
9	Терек	1930–2005	11,1	0,13
10	Волга	1930–2005	260	0,17
11	Урал	1930–2005	8,87	0,56
12	Обь	1930–2005	407	0,15
13	Иртыш	1930–2005	88,9	0,26
14	Енисей	1930–2005	651	0,08
15	Лена	1930–2005	543	0,12
16	Ангара	1930–2005	145	0,13
17	Селенга	1932–2005	28,9	0,24
18	Яна	1936–2005	31,4	0,21
19	Инди-гирка	1930–2005	55,6	0,21
20	Колыма	1930–2005	128	0,22
21	Амур	1930–2005	359	0,20
22	Камчатка	1932–2005	31,7	0,10

как справедливо отмечается, являются довольно неточными (см.: Shiklomanov, Rodda, ed., 2003). Приведенные в табл. 5.4 данные о водных ресурсах крупнейших речных бассейнов России отличаются от их значений, опубликованных ранее (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987).

Таблица 5.4

Параметры приведения стока водных ресурсов крупнейших рек России к устью

№ п/п	Река — пункт	Параметры
1	Печора — Усть-Цильма	1,212
2	Северная Двина — Усть-Пинега	1,026
3	Мезень — Малонисогорская	1,358
4	Онега — Порог	1,022
5	Нева — Новосаратовка	1,000
6	Западная Двина — Велиж	1,000
7	Дон — Раздорская	1,030
8	Нямунас — Смалининкай	1,150
9	Днепр — Смоленск	1,140
10	Обь — Салехард	1,020
11	Иртыш — Тобольск	1,320
12	Енисей — Игарка	1,110
13	Лена — Кюсюр	1,018
14	Ангара — Богучаны	1,300
15	Селенга — Мостовой	1,000
16	Индигоирка — Воронцово	1,116
17	Яна — Джангкы	1,060
18	Колыма — Среднеколымск	1,817
19	Камчатка — урочище Большие Щёки	1,100
20	Урал — Кушум	0,930
21	Амур — Комсомольск-на-Амуре	1,126
22	Терек — Хангаш-Юрт (Степное)	1,000
23	Сулак — Миатлы	1,000
24	Волга — Волжская ГЭС им. XII съезда КПСС	1,000
25	Кубань — Краснодарский гидроузел	1,000

В табл. 5.5 показаны результаты сопоставления данных по ряду речных бассейнов, опубликованные ГГИ в 1987 г. и оцененные заново в 2005–2007 гг., т. е. полученные за более продолжительный период.

Анализ данных табл. 5.5 показывает, что на ряде речных бассейнов Европейской части России (Северная Двина, Нева, Неман, Дон, Урал) водные ресурсы за более продолжительный период оказались ниже своих «норм», а на других — выше. В азиатской части водные ресурсы крупнейших речных бассейнов были выше нормы, за исключением водосбора р. Камчатка.

Таблица 5.5

Водные ресурсы крупнейших речных бассейнов России, опубликованные в 1987 г. и оцененные за период наблюдений по 2005 г. включительно

№ п/п	Речной бассейн	Площадь водосбора, км ²	Значения стока рек, км ³ /год		Разность стока, в %
			опубликованные в 1987 г.	полученные в 2005–2006 гг.	
1	Печора	322 000	130	131	0,8
2	Северная Двина	357 000	109	103	–5,5
3	Онега	56 900	15,7	15,7	0,0
4	Нева	281 000	78,5	75,7	–3,6
5	Неман	98 200	19,7	19,2	–2,5
6	Дон	422 000	28,1	26,8	–4,6
7	Кубань	57 900	13,5	14,4	6,7
8	Терек	37 400	11,0	11,1	0,9
9	Волга	1 380 000	254	260	2,4
10	Урал	236 000	10,1	8,87	–12,2
11	Обь	2 990 000	404	407	0,7
12	Иртыш	1 643 000	88,3	88,9	0,7
13	Енисей	2 580 000	630	651	3,3
14	Лена	2 490 000	532	543	2,1
15	Яна	238 000	30,7	31,4	2,3
16	Индигоирка	360 000	53,6	55,6	3,7
17	Колыма	647 000	128	128	0,0
18	Камчатка	55 900	33,1	31,7	–4,2
19	Амур	1 855 000	344	359	4,4
20	Селенга	444 000	27,9	28,9	3,6

5.4. БАСЕЙНЫ МОРЕЙ

Территория Российской Федерации омывается водами 12 морей, относящихся к Северному Ледовитому, Атлантическому и Тихому океанам. Помимо этого частично в пределах нашего государства расположено большое Каспийское озеро-море. Сравнительно небольшую часть территории России занимают бессточные области (междуречье Иртыша и Оби, бассейны озер Далайнор и Убсу-Нур, бассейны рек Большой и Малый Узень).

Водные ресурсы бассейнов морей и бессточных областей территории Российской Федерации по существу определены впервые. Раньше (Воскресенский, 1962; Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза, 1967; Водные ресурсы..., 1987) оценка водных ресурсов бассейнов морей производилась лишь для территории бывшего СССР.

Ряд морей, омывающих территорию России (Чёрное, Азовское, Балтийское, Каспийское), естественно, имеют меньшую площадь своих бассейнов, чем у бывшего СССР, поскольку после его распада часть площадей указанных бассейнов находится вне России, в пределах образовавшихся новых суверенных государств.

Ниже приводится краткая характеристика водных ресурсов бассейна каждого моря и бессточных областей, входящих в состав Российской Федерации.

Белое море

Средние многолетние общие водные ресурсы Белого моря за период наблюдений (1930–2005 гг.) составляют 221 км³, из них 219 км³ формируются на территории Российской Федерации, а из-за рубежа притекает 2,38 км³.

Наиболее значительные реки бассейна Белого моря — Мезень, Северная Двина и Онега. Суммарные водные ресурсы их бассейнов составляют 138 км³, или 62,3% водных ресурсов всего бассейна моря.

Баренцево море

Средние многолетние водные ресурсы Баренцева моря за период наблюдений (1930–2005 гг.) равны 210 км³, на зарубежной территории формируется 5,73 км³. Водные ресурсы материковой части бассейна моря составляют 184 км³, а островной — 26,3 км³.

Водные ресурсы бассейна наиболее крупной р. Печора составляют 132 км³, или 62,4% водных ресурсов всего бассейна моря.

Балтийское море

Среднее многолетнее значение за период наблюдений (1930–2005 гг.) водных ресурсов бассейна Балтийского моря, формирующихся на территории Российской Федерации, Прибалтийских государств и частично Финляндии (р. Вуокса) равно 129 км³. Приток с указанной зарубежной территории составляет 46,2 км³.

Большую часть водных ресурсов бассейна Балтийского моря составляют водные ресурсы бассейна р. Нева (75,7 км³, или 58,7% от общих водных ресурсов бассейна моря).

Азовское море

Общие водные ресурсы бассейна Азовского моря в среднем за многолетний период (1930–2005 гг.) составляют 41,8 км³, из них 37,6 км³ формируется на территории Российской Федерации. Общие водные ресурсы крупнейших речных бассейнов этого моря — р. Дон и р. Кубань — составляют соответственно 64,1% и 34,4% водных ресурсов Азовского моря.

Чёрное море

Водные ресурсы бассейна Черного моря в пределах России в среднем за многолетний период (1930–2005 гг.) составляют 24,8 км³. Помимо этого 0,5 км³ воды притекает на территорию России по рекам Беседь и Ипуть с территории Белоруссии и выносятся через Днепр в Чёрное море.

Водные ресурсы бассейна р. Днепр, находящегося в пределах России, составляют 63,2% суммарных водных ресурсов бассейна моря.

Карское море

Средние многолетние общие водные ресурсы рек бассейна Карского моря, оцененные за период наблюдений (1936–2005 гг.), составляют 1391 км³, в том числе из-за рубежа притекает 48,8 км³ (7,80 км³ — из Монголии по рекам Тес-Хем, Кызыл-Хем и прочим притокам М. Енисея в Республику Тыва; 27,2 км³ — по р. Иртыш из Казахстана в Омскую область; 11,7 км³ — из Монголии по р. Селенга и ее притокам в Республику Бурятия; 1,8 км³ — из Казахстана по р. Ишим в Тюменскую область; 0,05 км³ — из Казахстана по р. Тобол в Курганскую область). Водные ресурсы материковой части бассейна моря равны 1365 км³, а сток с островов составляет 26,3 км³.

Наиболее значительными реками бассейна моря являются Обь (407 км³) и Енисей (651 км³), что составляет в сумме 75,4% общих водных ресурсов бассейна Карского моря.

Море Лаптевых

Среднее многолетнее за период наблюдений (1936–2005 гг.) значение водных ресурсов бассейна моря Лаптевых равно 804 км³. В пределах материковой части России формируется 791 км³ водных ресурсов, а сток с островов составляет 12,9 км³.

Водные ресурсы водосбора р. Лена — крупнейшего в бассейне моря — составляют 67,6%, а р. Хатанга — 11,6% от общих водных ресурсов рассматриваемого бассейна моря.

Восточно-Сибирское море

Средние многолетние за период наблюдений (1936–2005 гг.) водные ресурсы бассейна Восточно-Сибирского моря составляют 267 км³, из них 136 км³ (50,9%) приходится на бассейн р. Колыма и 83,5 км³ (31,3%) — на бассейн р. Индигирка. Водные ресурсы островов равны 4,45 км³.

Чукотское море

Средние многолетние за период наблюдений (1936–2005 гг.) водные ресурсы бассейна Чукотского моря составляют 29,0 км³, причем около 30% этой величины составляют водные ресурсы бассейна Амгуэзы — наиболее значительной реки.

Берингово море и побережье Тихого океана

Среднее многолетнее значение за период наблюдений (1936–2005 гг.) водных ресурсов бассейна Берингова моря равно 146 км³, из них 41,1% составляют ресурсы бассейна р. Анадырь.

К бассейну Тихого океана относятся реки восточного побережья полуострова Камчатка. Водные ресурсы этого бассейна в среднем за многолетний период (1936–2005 гг.) составляют 79,5 км³.

Охотское море

Среднее многолетнее значение за период (1936–2005 гг.) суммарных водных ресурсов бассейна Охотского моря равно 655 км³, из них на территории России формируется 561 км³, а 93,9 км³ поступает из-за рубежа. На материковой части бассейна водные ресурсы равны 603 км³, а 51,7 км³ формируется на островах.

Главной рекой бассейна Охотского моря является Амур. В его бассейне формируется 359 км³, или 54% общих водных ресурсов бассейна моря.

Японское море

Средние многолетние за период (1936–2005 гг.) общие водные ресурсы бассейна Японского моря составляют 36,6 км³, в том числе из-за рубежа по-

ступает 1,58 км³. На материковой части бассейна моря формируется 25,2 км³ суммарных водных ресурсов, а на островной — 11,4 км³.

Каспийское море

Среднее многолетнее значение за период (1936–2005 гг.) водных ресурсов бассейна Каспийского моря, сформированных в пределах России, равно 277 км³.

Крупнейшей рекой этого бассейна является Волга. Водные ресурсы бассейна Волги за указанный период составляют 260 км³, или 94% суммарных водных ресурсов Российской части бассейна Каспийского моря.

Бессточные области

К бессточным областям России относятся расположенные между реками Иртыш и Обь бассейны озер Далайнор и Убсу-Нур, а также бассейны рек Большой Узень и Малый Узень. Водные ресурсы бессточных областей в среднем за многолетний период (1936–2005 гг.) составляют 8,85 км³, из них на территории Российской Федерации формируется 7,86 км³.

Общие водные ресурсы бассейнов морей равны 4327 км³, из них на территории России формируется 4118 км³, а из-за рубежа поступает 209 км³.

Сводные данные о водных ресурсах всех бассейнов морей, омывающих территорию России, приведены в табл. 5.6.

Как уже говорилось, водные ресурсы бассейнов морей оценивались в ГГИ неоднократно, однако эти оценки выполнялись для всей территории Советского Союза, а не для Российской Федерации.

В связи с распадом СССР и образованием на его территории новых суверенных государств, прошлые оценки площадей бассейнов морей и водных ресурсов в пределах нашего государства утратили свое значение. Поэтому для бассейнов отдельных морей провести сравнительный научный анализ публикаций по водным ресурсам за прошлый и современный периоды затруднительно. В табл. 5.7 приводятся лишь весьма ориентировочные сравнительные оценки по водным ресурсам бассейнов Балтийского, Азовского, Чёрного, Каспийского и, частично, Карского морей и бессточным областям России, полученные в 2005–2006 гг., в сравнении с оценками, опубликованными ранее (Водные ре-

Таблица 5.6

Водные ресурсы бассейнов морей Российской Федерации

Море	Площадь бассейна*, тыс. км ²	Водные ресурсы**, км ³ /год
Белое	709,8	219
	717,6	221
Баренцево	525,7	205
	542,4	210
Балтийское	256,97	82,7
	414,48	129
Азовское	464,08	37,6
	579,30	41,8
Чёрное	63,62	24,8
	110,52	25,3
Карское	5739,5	1342
	6649,65	1391
Лаптевых	3692,9	804
Восточно-Сибирское	1295,5	267
Чукотское	101,0	29,0
Берингово море и Тихий океан***	569,7	226
Охотское	1695,4	561
	2547,4	655
Японское	124,3	35,1
	134,3	36,6
Каспийское	1675,37	277
	1749,99	
Бессточные области Урала и Сибири	161,59	7,86
	166,7	8,85
Всего по бассейнам	17 075,4	4118
	19 271,44	4322

Примечания. * В числителе приведены площади в пределах РФ, в знаменателе — с учетом зарубежной территории. ** В числителе приведены водные ресурсы, формирующиеся в пределах РФ, в знаменателе — с учетом поступления вод с зарубежной территории. *** К Тихому океану отнесены тихоокеанское побережье п-ова Камчатка и восточные склоны Курильских островов.

ресурсы СССР и их использование, 1987). Для ряда бассейнов морей (Белое, Баренцево, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Берингово, Охотское, Японское) сравнительные оценки водных ресурсов за указанные периоды свидетельствуют об их изменениях под влиянием климатических факторов.

Для всех бассейнов морей выполнена оценка колебаний водных ресурсов по годам за период с 1930 по 2005 гг. На рис. 5.6 в качестве примера представлены изменения во времени водных ресурсов 3-х бассейнов морей: Азовского, Чёрного и Карского.

Из табл. 5.7 следует, что водные ресурсы бассейнов морей, омывающих территорию России, изме-

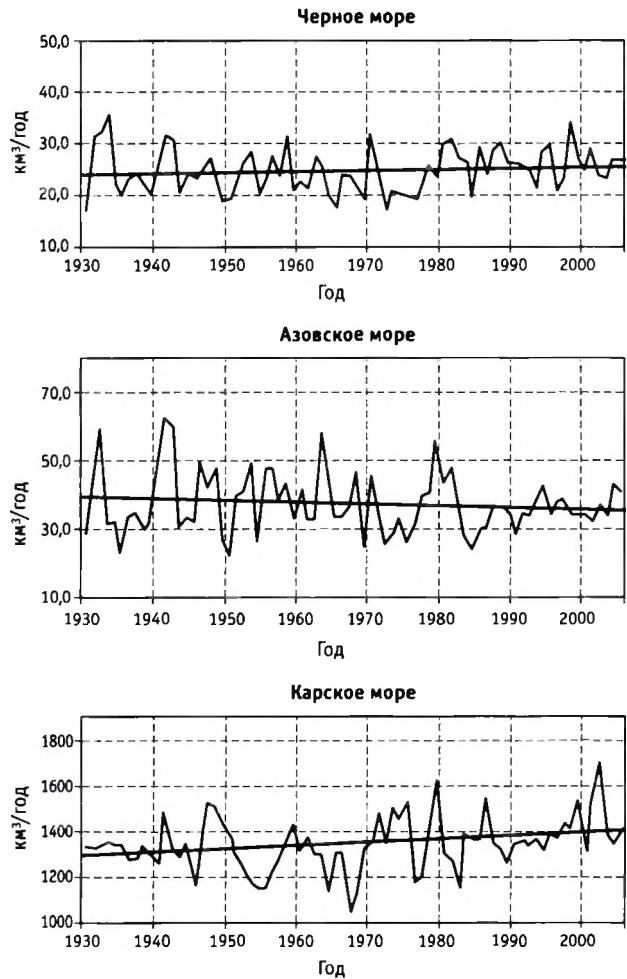


Рис. 5.6. Многолетние колебания водных ресурсов бассейнов Азовского, Чёрного, Карского морей за период 1930–2005 гг. (для Азовского и Чёрного морей — российская часть бассейнов)

нились в Европейской части незначительно. Например, водные ресурсы бассейнов Белого и Баренцева морей уменьшились на 2% и 1,5%. В азиатской части лишь водные ресурсы Чукотского и Берингова морей заметно увеличились соответственно на 18,8% и 11,7%.

Водные ресурсы бассейнов Балтийского, Азовского, Чёрного морей и бессточных областей существенно уменьшились, главным образом, из-за политического фактора, связанного с образованием новых суверенных государств, и в незначительных мере в связи с колебаниями климатических факторов.

Водные ресурсы рек склона какого-либо океана (Северного Ледовитого, Тихого, Атлантическо-

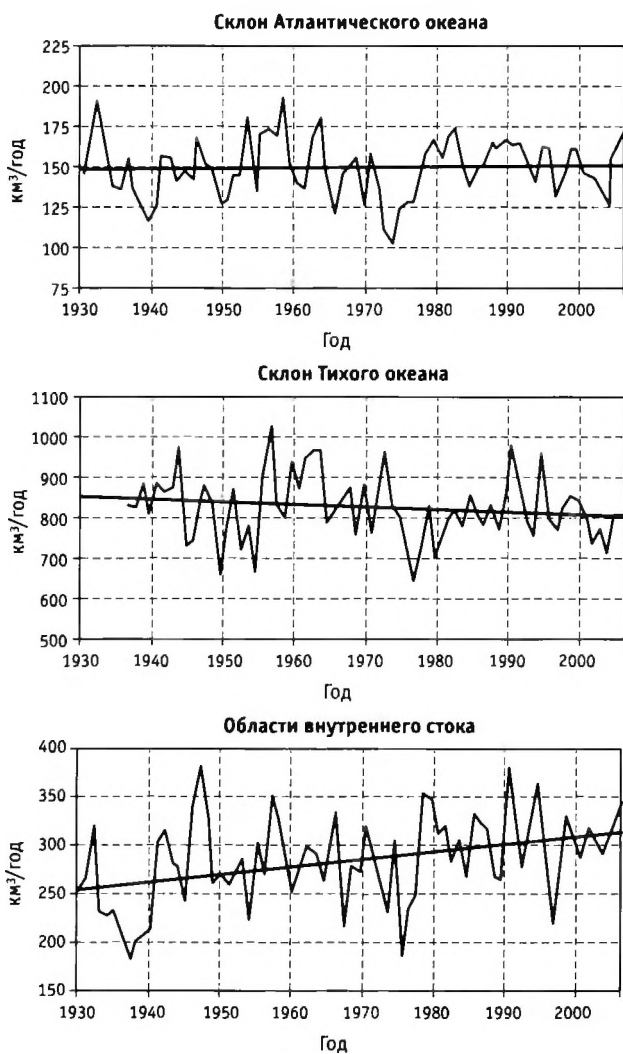


Рис. 5.7. Многолетние колебания водных ресурсов склонов Атлантического (1930–2005 гг.) и Тихого (1936–2005 гг.) океанов и областей внутреннего стока (1930–2005 гг.)

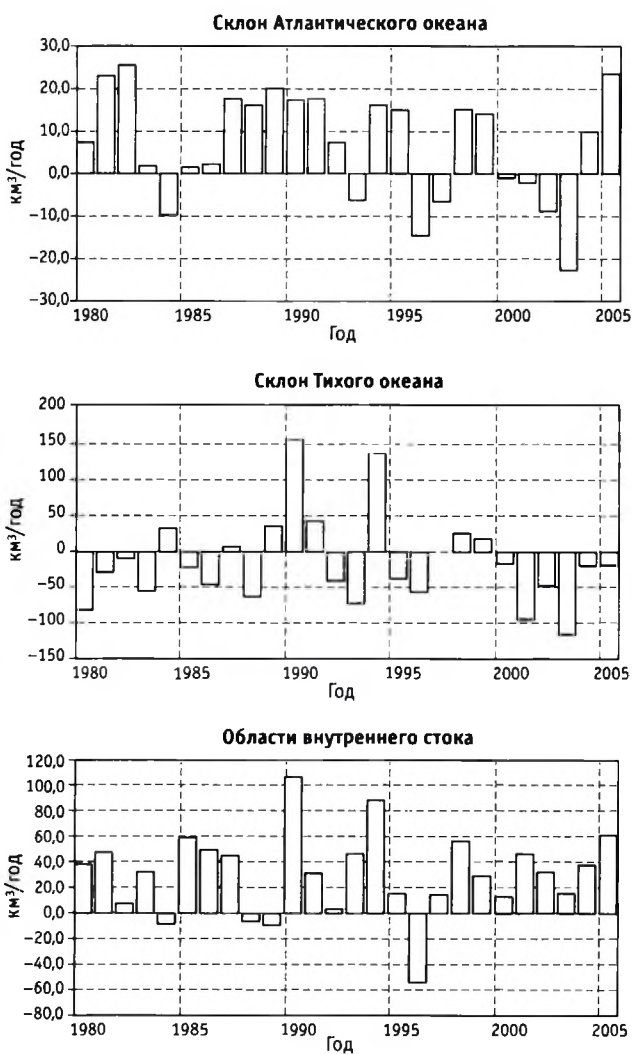


Рис. 5.8. Отклонения водных ресурсов склонов Атлантического и Тихого океанов и областей внутреннего стока за период 1980–2005 гг. от среднего за предшествующий период

го) представляют собой сумму стока всех рек бассейнов морей, входящих в состав соответствующих склонов.

Бассейн Каспийского моря вместе с другими бессточными областями, указанными выше, является областью внутреннего стока России.

Изменения во времени суммарных водных ресурсов Российской части склонов Атлантического и Тихого океанов и области внутреннего стока показаны на рис. 5.7–5.8, а крупнейших российских рек в бассейне Северного Ледовитого океана — на рис. 5.9–5.10.

На рис. 5.11–5.12 показана динамика изменений водных ресурсов всей территории Российской Федерации во времени.

Как видно из указанных рисунков, за период гидрологических наблюдений водные ресурсы рек склона Северного Ледовитого океана, а также бассейна Каспийского моря имеют общую тенденцию увеличения, а Тихого океана — уменьшения.

Суммарные водные ресурсы России за последние два десятилетия имели заметную тенденцию увеличения по сравнению с предшествующим периодом наблюдений.

Таблица 5.7

Водные ресурсы бассейнов морей Российской Федерации, км³/год, и их изменение

Море	Оценки до распада СССР		Современные данные		Изменение современных водных ресурсов относительно «нормы», %
	Площадь бассейна, тыс. км ²	Водные ресурсы	Площадь бассейна*, тыс. км ²	Водные ресурсы**	
Белое	709,8	223	709,8	219	-2,02
	717,6	226	717,6	221	
Баренцево	525,7	208	525,7	205	-1,49
	542,4	213	542,4	210	
Балтийское	568,15	143	256,97	82,7	-42,0****
	637,9	161	414,48	129	
Азовское	579,3	42,1	464,08	37,6	-10,7****
			579,3	41,8	
Чёрное	787,8	137	63,62	24,8	-81,8****
	1613,3	265	110,52	25,3	
Карское	6248,17	1344	5739,5	1342	-0,12
	6649,65	1375	6649,65	1391	
Лаптевых	3692,9	783,0	3692,9	804	2,88
Восточно-Сибирское	1295,5	268,0	1295,5	267	-0,26
Чукотское	101,0	24,4	101,0	29,0	18,8
Берингово море и Тихий океан***	569,7	202	569,7	226	11,7
Охотское	1695,4	564	1695,4	561	-0,42
	2547,4	660	2547,4	655	
Японское	124,3	33,7	124,3	35,1	4,15
	134,3	35,7	134,3	36,6	
Каспийское	2800	292	1675,37	277	-5,37****
	2950	298	1749,99		
Бессточные области Урала и Сибири	2577,18	149	161,59	7,86	-94,7****
	2893,25	186	166,7	8,85	
Всего по бассейнам	22 274,9	4413	17 075,4	4118	0,11
	24 924,2	4740	19 271,44	4322	

Примечания. Данные по водным ресурсам приведены с округлением до целых чисел (для больших площадей бассейнов морей). * В числителе приведены площади в пределах РФ, в знаменателе — с учетом зарубежной территории. ** В числителе приведены водные ресурсы, формирующиеся в пределах РФ, в знаменателе — с учетом поступления вод с зарубежной территории. *** К Тихому океану отнесены тихоокеанское побережье п-ова Камчатка и восточные склоны Курильских островов. **** Изменения водных ресурсов в основном за счет изменения площадей бассейна.

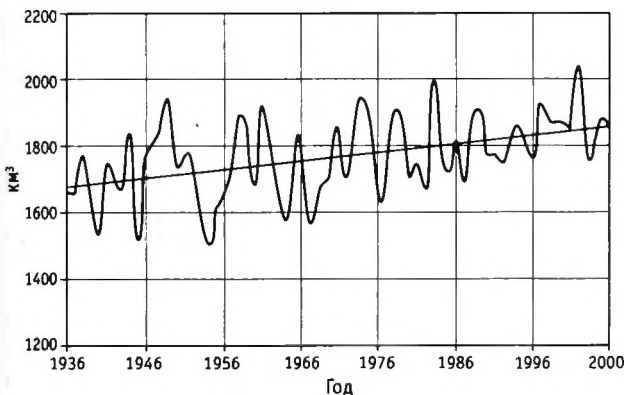


Рис. 5.9. Динамика суммарного стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана: Печоры, Северной Двины, Оби, Енисея, Лены, Колымы

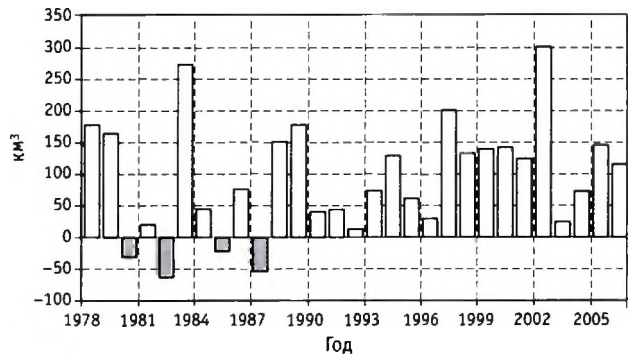


Рис. 5.10. Отклонения суммарного стока крупнейших рек Российской Федерации бассейна Северного Ледовитого океана за период 1978–2005 гг. от среднего за предшествующий период 1936–1977 гг.

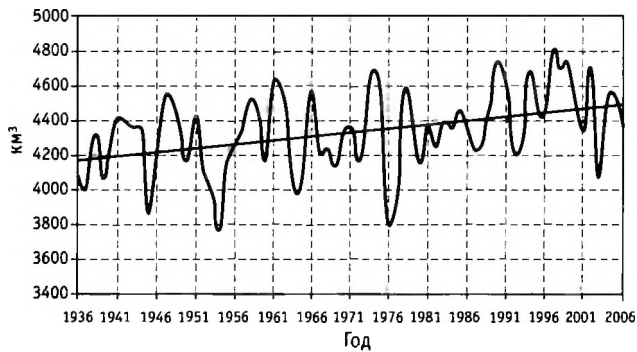


Рис. 5.11. Многолетняя (1936–2006 гг.) динамика водных ресурсов Российской Федерации

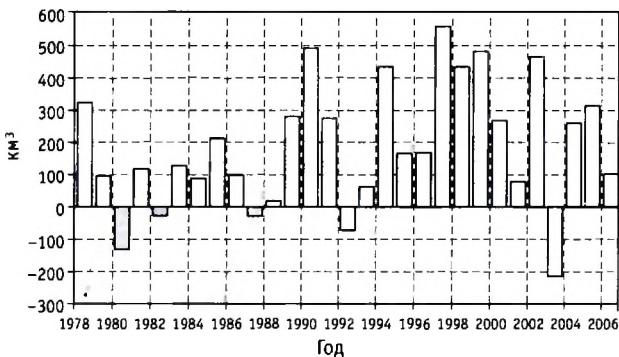


Рис. 5.12. Отклонения водных ресурсов Российской Федерации за период 1978–2006 гг. от среднего за предшествующий период 1936–1977 гг.

5.5. МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Водные ресурсы Российской Федерации изменяются во времени. Проблеме их многолетних колебаний посвящено огромное число исследований, различающихся по методологии и исходным материалам. Сформировалось несколько научных направлений подобных исследований. Одни исследователи рассматривают многолетние колебания стока рек в связи с естественными изменениями элементов климата (осадки, температура воздуха и т. д.), общей увлажненности территорий (индикатором ее принимаются уровни бессточных озер и другие компоненты ландшафтной оболочки) в историческом масштабе, используя палеонтологические, дендрологические, летописные и другие материалы. Другие ограничивают временные масштабы исследования естественных колебаний сто-

ка лишь периодом инструментальных его измерений, основываясь на фактических данных за период естественного состояния рек. Третьи, наряду с естественными колебаниями стока, изучают влияние на них антропогенных факторов. Четвертые исследуют закономерности многолетних колебаний стока на основе его стохастического моделирования. Ниже приведем некоторые выводы этих исследований.

5.5.1. Колебания стока рек

Для последнего 6000-летнего исторического периода применительно к Северному полушарию установлена многовековая и внутривековая изменчивость компонентов ландшафтной оболочки, элементов климата, режима озер и притока в них речных вод (Шнитников, 1957; 1969).

В пределах Северного полушария им выявлены ритмы увлажненности продолжительностью 1800–2000 лет. Согласно А. В. Шнитникову, период регрессивной увлажненности примерно с XII в. до н. э. вплоть до начала нового летоисчисления, характеризовался преимущественно сухим и теплым климатом. Горные ледники на всем Земном шаре отступили высоко в горы. Ледовитость полярных морей существенно уменьшилась. Реки были маловодными, о чем свидетельствует низкое стояние уровня Каспийского и Аральского морей. С XIII–XIV вв. общие климатические условия в Северном полушарии стали изменяться: увеличилась дождливость в умеренных широтах, стало холоднее, началось наступление горных и полярных ледников. Эти явления продолжались до конца XVIII — начала XIX в. Реки в этот период были полноводными, с частыми катастрофическими наводнениями. Уровень подземных вод в Европе значительно поднялся, большое распространение получили болота и заболоченные земли. Со второй половины XIX столетия наблюдался спад увлажненности материков Северного полушария.

Многовековые ритмические колебания характеризуют лишь общие тенденции увлажненности, которые могут нарушаться внутривековой цикличностью.

К. П. Воскресенский (Воскресенский, 1962) считал, что, несмотря на приближенность выводов А. В. Шнитникова, в течение 6000-летнего периода увлажнение Евразии и Северной Америки колебалось около среднего значения. Следовательно, полагал он, средняя величина стока рек также не из-

менилась за этот большой промежуток времени. Вместе с тем в течение исторического времени были достаточно длительные периоды, когда водоносность рек значительно отличалась от средней за современную эпоху.

На основании тщательного изучения литературных источников, полевых исследований террас бессточных озер и систематических наблюдений за колебаниями уровней бессточных озер, расположенных между Уралом и Обью, А. В. Шнитников (Шнитников, 1957; 1969) выделил в течение 250-летнего периода (с конца XVII в.) семь циклов продолжительностью от 19 до 45 лет — между максимумами стояния уровня и от 20 до 47 лет — между минимальными положениями уровней. Средняя продолжительность циклов составляет 35 лет с отклонениями -16 и $+12$ лет. Продолжительность этих циклов примерно соответствует известному гелиоклиматическому 35-летнему циклу Э. А. Брикнера. Циклы меньшей продолжительности 8,9 и 18,6 лет А. В. Шнитников связывал с изменениями приливообразующей силы Луны и с солнечной активностью.

По мнению П. С. Кузина, впервые на периодические изменения водоносности сибирских рек обратил внимание в 175 г. русский академик И. Г. Гмелин. Позднее, в 1898 г., Е. А. Гейнц обнаружил интересное свойство группирования маловодных засушливых лет по два — четыре года и даже до семи лет подряд (см.: Кузин, 1970). На основании летописных данных (Боголепова, 1907) и иностранных источников Е. В. Оплоков (Оплоков, 1936) предложил хронологическую сводку с начала текущего тысячелетия засушливых (маловодных) и многоснежных или дождливых (многоводных) лет на обширном пространстве Восточной Европы. Также Е. В. Оплоков сделал вывод о неизменности водоносности рек за историческую эпоху при наличии колебаний ее в более или менее широких пределах в отдельные годы и периоды в зависимости от изменений климатических элементов.

Таким образом, многочисленными исследованиями доказано наличие коротких и длительных (многовековых) циклов колебаний климата, полнотий и опусканий уровней озер и колебаний водоносности рек.

Представляет существенный интерес исследования по выявлению тенденций в колебаниях водных ресурсов Российской Федерации за принятый расчетный период, которые можно рассматривать как внутривековые колебания в течение XX в. Такие

исследования проводились для всех крупнейших речных бассейнов за период наблюдений с 1930-х гг. до 2005 г. Ниже кратко описаны методы исследований и приведены конкретные результаты по крупнейшим речным бассейнам и бассейнам морей.

5.5.2. Динамика водных ресурсов

5.5.2.1. Методы и результаты оценки

Оценка ежегодно возобновляемых водных ресурсов России основывается на использовании данных наблюдений гидрологической сети.

В табл. 5.3 и 5.6 приведены данные о среднемноголетних значениях за период гидрологических наблюдений (начиная с 1930-х гг. и по 2005 г.) ежегодно возобновляемых водных ресурсов крупнейших речных бассейнов и бассейнов морей. Изменения же во времени полученных рядов водных ресурсов крупнейших бассейнов рек и морей за исследуемые 70—75 лет (в зависимости от периода наблюдений) могут быть охарактеризованы средними квадратическими отклонениями. В целях сопоставления изменчивости водных ресурсов всех указанных бассейнов в гидрологии используют безразмерные параметры (в долях от единицы) — коэффициенты изменчивости (вариации) C_v , представляющие собой отношения среднеквадратичных отклонений водных ресурсов рассматриваемых территорий к соответствующим их средним значениям.

Данные по коэффициентам изменчивости C_v для территорий речных бассейнов и бассейнов морей приведены в табл. 5.3, 5.8, 5.9 и 5.10.

Очень важны результаты исследований изменения коэффициента вариации во времени. В табл. 5.8 приведены данные по коэффициентам вариации C_v крупнейших речных бассейнов России, опубликованные ранее (Водные ресурсы СССР..., 1987), а также полученные в 2005—2006 гг. за более длительные периоды гидрологических наблюдений.

Из табл. 5.8 следует, что изменчивость во времени речного стока существенно увеличилась (до 15% и выше) в бассейнах Печоры, Терека, Лены, Индигирки и уменьшилась в бассейнах Северной Двины, Невы, Дона и Оби. В остальных бассейнах она изменилась несущественно либо вовсе не изменилась.

Это обстоятельство указывает на роль атмосферной циркуляции в изменении коэффициента вариации C_v водных ресурсов крупнейших рек нашей страны.

Таблица 5.8

Многолетняя изменчивость водных ресурсов крупнейших речных бассейнов России

№ п/п	Река	Изменчивость водных ресурсов (C_t)		Различия, %
		по публикации 1987 г.	по современным оценкам	
1	Печора	0,13	0,15	15,4
2	Северная Двина	0,18	0,16	-11,1
3	Онега	0,21	0,20	-4,8
4	Нева	0,18	0,16	-11,1
5	Неман	0,17	0,16	-5,9
6	Дон	0,38	0,33	-13,2
7	Кубань	0,17	0,18	5,9
8	Терек	0,11	0,13	18,2
9	Волга	0,18	0,17	-5,6
10	Урал	0,60	0,56	-6,7
11	Обь	0,17	0,15	-11,8
12	Иртыш	0,29	0,26	-10,3
13	Енисей	0,08	0,08	0,0
14	Лена	0,10	0,12	20,0
15	Яна	0,20	0,21	5,0
16	Индирикка	0,18	0,21	16,7
17	Колыма	0,22	0,22	0,0
18	Камчатка	9,10	0,10	0,0
19	Амур	0,20	0,20	0,0
20	Селенга	0,26	0,24	-7,7

Колебания ежегодно возобновляемых водных ресурсов во времени являются циклическими (см., напр.: Андреев, 1957; Кузин, 1970). Длительные периоды влажных и засушливых лет обуславливают наличие серий (периодов) многоводных и маловодных лет различной продолжительности. Периоды многоводных лет сменяются маловодными и наоборот, образуя так называемые циклы колебаний. Эти циклы, выделяемые на разностных интегральных кривых, использовались в гидрологических исследованиях (Андреев, 1957; Воскресенский, 1962) для оценки «норм» водных ресурсов (речного стока). Наблюдаемые значения водных ресурсов речных бассейнов и бассейнов морей за рассматриваемые (расчетные) периоды времени содержат в своем составе интервалы, в течение которых динамика стока может быть нарушена либо односторонними изменениями климатических циклов, либо влиянием хозяйственной деятельности.

Поэтому возникает необходимость проверки однородности (стационарности) рядов водных ресурсов. С этой целью используют параметрические и непараметрические методы. Оценка стационар-

ности (однородности) временных рядов водных ресурсов речных бассейнов и бассейнов морей производилась нами с помощью классических методов проверки гипотез — критериев Стьюдента и Фишера (Shiklomanov, Rodda, ed., 2003).

Начальный этап анализа стационарности связан с проверкой устойчивости дисперсии по критерию Фишера. Для этого ряд водных ресурсов (y_1, y_2, \dots, y_n) разбивался на две выборки по дате нарушения водного режима, если она известна, или, в противном случае, на две равные части. Датой нарушения водного режима служат: год начала заполнения водохранилища, дата ввода в строй отводного канала или другие причины.

По двум выборкам рассчитывались оценки средних значений и дисперсий:

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} Y_i; \quad \bar{Y}_2 = \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^{m_2} Y_i; \quad (5.14)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{m_1 - 1} \sum_{i=1}^{m_1} (Y_i - \bar{Y}_1)^2; \quad \sigma_2^2 = \frac{1}{m_2 - 1} \sum_{i=m_1+1}^n (Y_i - \bar{Y}_2)^2, \quad (5.15)$$

где m_1 и m_2 — объемы выборок, $n = m_1 + m_2$ — длина исходного ряда.

Статистика Фишера вычисляется как отношение дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 (в числителе — большая из дисперсий):

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}. \quad (5.16)$$

Стационарность дисперсии исходного ряда водных ресурсов проверялась по соотношению рассчитанного значения статистики F и критического F_α с учетом принятого уровня значимости α . Критическое значение F_α определяется из таблиц в зависимости от объема выборок m_1 и m_2 , построенных по классическому распределению Фишера (Дейвид, 1979; Пространственно-временные колебания стока рек СССР, 1988).

Если $F > F_\alpha$, то с вероятностью $P = 1 - \alpha$ можно сделать вывод о нестационарности дисперсии исходного ряда.

Аналогичным образом выполнялась оценка стационарности среднего значения ряда водных ресурсов речных бассейнов и бассейнов морей с помощью статистики Стьюдента (Дэйвид, 1979). Этот критерий определяется выражением:

$$t = \frac{(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)}{\sqrt{m_1 \sigma_1^2 + m_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{m_1 m_2 (n - 2)}{m_1 + m_2}}. \quad (5.17)$$

Рассчитанные значения статистики t были сравнены с их критическими значениями t_a , которые определялись по таблицам (Пространственно-временные колебания стока рек СССР, 1988).

Если $|t| > |t_a|$, то с вероятностью $P=1-\alpha$ следует сделать вывод о нестационарности оценок среднего значения исходного ряда.

Выводы о стационарности (однородности) либо нестационарности временного ряда принимались исходя из проверок однородности как дисперсии, так и среднего значения водных ресурсов.

5.5.2.2. Проверка гипотезы о наличии линейных трендов

При изучении динамики колебаний водных ресурсов часто отмечаются однонаправленные изменения их величин под действием одного или нескольких факторов в течение какого-либо периода. Эти изменения (тренды) либо их тенденции (Бронштейн, Семендяев, 1967) требуют анализа достоверности их наличия. Для проверки наличия линейного тренда использована методика, применяемая в гидрологии и метеорологии (Поляк, 1975). По этой методике, основанной на проверке статистической значимости параметров тренда, рассчитывается уравнение линейной регрессии следующего вида:

$$Y(t) = a_0 + a_1 t, \quad (5.18)$$

где $Y(t)$ — значения исследуемых водных ресурсов (речного бассейна или бассейна моря), t — порядковый номер наблюдаемой величины, a_0 и a_1 — регрессионные коэффициенты.

Для принятия гипотезы о наличии линейного тренда по методике И. И. Поляка требуется выполнение следующих условий:

$$1) \bar{\sigma}^2 \leq \sigma^2, \quad 2) |a_1| \geq 2\sigma_{a_1}, \quad (5.19)$$

где σ^2 — дисперсия наблюдаемых величин от среднего значения, которая определяется по выражению (5.2), $\bar{\sigma}^2$ — дисперсия отклонения наблюдаемых величин от линии тренда, которая определяется так:

$$\bar{\sigma}^2 = \sigma^2(1-R^2), \quad (5.20)$$

где R — коэффициент корреляции между наблюдаемой величиной и ее порядковым номером, σ_{a_1} — среднее квадратическое отклонение регрессионного коэффициента a_1 , которое определяется следующим образом:

$$\sigma_{a_1} = \sqrt{\frac{12}{n(n-1)}} \sigma. \quad (5.21)$$

Если условия (5.19) не выполняются, то линейный тренд является незначимым с вероятностью 5%.

Рассмотренный метод имеет максимальную эффективность в случае нормально распределенной выборки («белого шума»). Однако ряды стока этому условию, как правило, не отвечают, поэтому оценивание линейного тренда, а следовательно, и вывод о стационарности исходного ряда, является успешным в той мере, насколько исходная выборка отличается от «белого шума».

5.5.2.3. Результаты анализа на стационарность (однородность)

Для оценки рядов водных ресурсов бассейнов рек в гидрометрических створах и бассейнов морей на стационарность были выделены два периода: 1930 (1936) — 1979 гг. и 1980—2005 гг., различающиеся главным образом по климатическим условиям.

Результаты анализа рядов водных ресурсов бассейнов основных рек Российской Федерации на стационарность (однородность) приведены в табл. 5.9.

Из табл. 5.9 видно, что из 21 рассмотренного речного бассейна водные ресурсы в 10 стационарны и по среднему, и по дисперсии, 6 рядов стационарны только по дисперсии и нестационарны по среднему значению, 4 ряда стационарны по среднему значению и нестационарны по дисперсии.

Полностью нестационарен ряд водных ресурсов р. Волга — г. Волгоград, что объясняется наиболее сильным влиянием циклонической деятельности в этом бассейне за последние 26 лет по сравнению с периодом 1897—1979 гг.

Результаты анализа рядов бассейнов морей и области внутреннего стока представлены в табл. 5.10, из которой видно, что из 14 рассмотренных рядов водных ресурсов бассейнов морей 6 полностью стационарны. Полностью стационарными являются ряды водных ресурсов бассейнов морей, расположенных в Азиатской части территории России, принадлежащих Северному Ледовитому океану, а также бассейна Японского моря, что, по-видимому, объясняется наименьшей их зависимостью от хозяйственной деятельности и слабым влиянием Атлантики, либо его отсутствием вовсе, например

Проверка рядов водных ресурсов речных бассейнов на однородность по методикам Фишера и Стьюдента

№ п/п	Речной бассейн	Период	Среднее, км ³ /год	Cv	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
1	р. Печора — с. Оксино	1930–2005	131	0,15	+	–
2	р. Северная Двина — с. Усть-Пинега	1930–2005	101	0,16	–	+
3	р. Онега — д. Змиево	1930–2005	11,5	0,20	–	+
4	р. Нева — д. Новосаратовка	1930–2005	75,7	0,16	+	+
5	р. Западная Двина — г. Велиж	1930–2005	4,78	0,28	+	–
6	р. Неман — г. Советск	1930–2005	17,7	0,16	+	+
7	р. Днепр — г. Орша	1930–2005	3,92	0,25	+	+
8	р. Дон — ст-ца Раздорская	1935–2004	26,0	0,33	–	+
9	р. Кубань — г. Краснодар	1926–2005	13,8	0,18	+	–
10	р. Терек — Степное	1936–2005	10,9	0,13	+	–
11	р. Волга — г. Волгоград	1897–2005	260	0,17	–	–
12	р. Обь — г. Салехард	1936–2005	405	0,15	+	+
13	р. Енисей — г. Игарка	1936–2005	586	0,08	+	–
14	р. Ангара — с. Богучаны	1936–2005	111	0,13	+	+
15	р. Олёнок — ГМС Ярольин	1936–2005	2,46	0,23	+	+
16	р. Лена — с. Кюсюр	1930–2005	533	0,12	+	+
17	р. Яна — ГМС Джангкы	1936–2005	29,5	0,21	+	+
18	р. Индигирка — ГМС Воронцово	1930–2005	49,7	0,21	–	+
19	р. Колыма — г. Среднеколымск	1930–2005	70,6	0,22	+	+
20	р. Камчатка — с. Нижне-Камчатск	1932–2005	30,7	0,10	+	–
21	р. Амур — с. Богородское	1930–2005	341	0,20	+	+

Примечание. *+* — ряд стационарен (однороден); *→ — ряд нестационарен (неоднороден).

Таблица 5.10

Проверка рядов водных ресурсов бассейнов морей Российской Федерации на однородность по методикам Фишера и Стьюдента

№ п/п	Море	Период	Среднее, км ³ /год	Cv	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
1	Белое	1930–2005	219	0,05	–	+
2	Баренцево	1930–2006	205	0,05	+	–
3	Балтийское	1930–2005	82,7	0,01	+	–
4	Азовское	1930–2005	37,6	0,08	–	+
5	Чёрное	1930–2005	24,8	0,17	+	–
6	Карское	1930–2005	1342	0,08	+	+
7	Лаптевых	1936–2005	804	0,08	+	+
8	Восточно-Сибирское	1930–2005	267	0,06	+	+
9	Чукотское	1936–2005	29,0	0,12	+	+
10	Берингово и Тихий океан	1936–2005	226	0,06	+	+
11	Охотское	1930–2005	561	0,07	–	+
12	Японское	1936–2005	35,1	0,08	+	+
13	Каспийское	1930–2005	277	0,06	–	–
14	Бессточные области	1930–2005	7,86	0,70	–	+

Примечание. *+* — ряд стационарен (однороден); *→ — ряд нестационарен (неоднороден).

для Японского моря. Только по дисперсии нестационарными являются 5 рядов водных ресурсов. Нестационарность по среднему выявлена для 4 рядов водных ресурсов. Полностью нестационарен ряд водных ресурсов лишь бассейна Каспийского моря. Это объясняется отсутствием однородности водных ресурсов бассейна р. Волга, составляющих 89,5% от суммарных водных ресурсов бассейна моря.

Таким образом, изменение статистических характеристик водных ресурсов за указанные два расчетных периода как речных бассейнов, так и бассейнов морей в целом незначительно (за исключением бассейнов р. Волга и Каспийского моря), что указывает на однородность сравниваемых рядов.

5.5.2.4. Результаты исследований линейных трендов

Оценка наличия (либо отсутствия) линейного тренда в водных ресурсах бассейнов крупнейших рек и морей производилась с использованием ме-

тодики (Поляк, 1975), описанной в разд. 5.5.2.2. Выявление линейных трендов осуществлялось для трех периодов: 1) за весь принятый расчетный период; 2) за период, начиная с наблюдений 1930-х гг. (за исключением бассейна р. Волга) по 1979 г. включительно; 3) с 1985 по 2005 г.

Результаты анализа рядов водных ресурсов 21 речного бассейна, 13 бассейнов морей и одной области внутреннего стока представлены в табл. 5.11 (для речных бассейнов) и 5.12 (для бассейнов морей и области внутреннего стока), а также, соответственно, на рис. 5.6 и 5.7.

Анализ данных, приведенных в указанных таблицах и на рисунках, показывает, что значимых трендов водных ресурсов рассматриваемых речных бассейнов и бассейнов морей не существует. Это обстоятельство объясняется тем, что зависимости от времени водных ресурсов рассматриваемых бассейнов за исследуемые интервалы времени характеризуются низкой корреляцией ($r < 0,70$). Лишь для бассейна р. Печора за весь расчетный период коэффициент корреляции был равен 0,605, а за по-

Таблица 5.11

Проверка наличия линейного тренда рядов водных ресурсов речных бассейнов по методике И. И. Поляка

№ п/п	Речной бассейн	Период	Дисперсии		a_1	$2\sigma_{a_1}$	Значимость тренда
			$\bar{\sigma}^2$	σ^2			
1	р. Печора — с. Оксино	1930–2005	245	389	0,546	1,81	–
		1930–1979	229	258	0,376	2,25	–
		1980–2005	250	337	1,223	4,99	–
2	р. Северная Двина — с. Усть-Пинега	1930–2005	256	259	0,081	1,48	–
		1930–1979	305	306	–0,061	2,45	–
		1980–2005	155	156	0,111	3,39	–
3	р. Онега — д. Змиево	1930–2005	5,40	5,44	0,009	0,214	–
		1930–1979	6,55	6,69	0,026	0,362	–
		1980–2005	3,14	3,145	0,006	0,482	–
4	р. Нева — д. Новосаратовка	1930–2005	141	141	0,032	1,09	–
		1930–1979	161	162	–0,046	1,78	–
		1980–2005	87,6	97,2	–0,406	2,68	–
5	р. Западная Двина — г. Велиж	1930–2005	1,71	1,77	0,011	0,122	–
		1930–1979	1,50	1,50	–0,0003	0,171	–
		1980–2005	1,60	1,94	–0,076	0,378	–
6	р. Неман — г. Советск	1930–2005	7,47	8,10	–0,036	0,261	–
		1930–1979	8,15	9,52	–0,081	0,432	–
		1980–2005	4,42	5,46	–0,133	0,635	–
7	р. Днепр — г. Орша	1930–2005	0,949	0,951	0,002	0,089	–
		1930–1979	0,865	0,951	–0,020	0,137	–
		1980–2005	0,850	0,850	–0,002	0,251	–

№ п/п	Речной бассейн	Период	Дисперсии		a_1	$2\sigma_{a_1}$	Значимость тренда
			$\overline{\sigma^2}$	σ^2			
8	р. Дон — ст-ца Раздорская	1935–2004	74,8	75,3	0,036	0,865	–
		1935–1979	103	103	0,048	1,58	–
		1980–2004	24,5	24,5	–0,020	1,40	–
9	р. Кубань — г. Краснодар	1926–2005	5,48	6,07	0,033	0,215	–
		1926–1979	4,47	4,61	0,024	0,278	–
		1980–2005	7,53	8,20	0,107	0,778	–
10	р. Терек — Степное	1936–2005	1,77	2,15	0,031	0,146	–
		1936–1979	1,76	1,80	0,014	0,213	–
		1980–2005	1,70	1,71	0,012	0,355	–
11	р. Волга — г. Волгоград	1879–2005	1932	1933	–0,027	2,41	–
		1879–1979	2018	2118	–0,343	3,17	–
		1980–2005	964	965	–0,137	8,44	–
12	р. Обь — г. Салехард	1936–2005	3741	3787	0,332	6,14	–
		1936–1979	4189	4363	1,041	10,5	–
		1980–2005	2835	2922	1,224	14,7	–
13	р. Енисей — г. Игарка	1936–2005	1718	1997	0,827	4,46	–
		1936–1979	1789	1793	–0,163	6,75	–
		1980–2005	1046	1618	3,12	10,9	–
14	р. Ангара — с. Богучаны	1936–2005	206	215	–0,143	1,46	–
		1936–1979	166	237	–0,660	2,45	–
		1980–2005	178	183	–0,298	3,67	–
15	р. Оленёк — ГМС Ярольин	1936–2005	0,311	0,329	0,007	0,057	–
		1936–1979	0,277	0,278	0,003	0,084	–
		1980–2005	0,375	0,385	0,013	0,169	–
16	р. Лена — с. Кюсюр	1930–2005	3793	3841	0,316	5,69	–
		1930–1979	3093	3095	–0,071	7,79	–
		1980–2005	5236	5300	1,04	19,8	–
17	р. Яна — ГМС Джангкы	1936–2005	39,6	39,9	0,026	0,630	–
		1936–1979	40,2	40,7	0,053	1,02	–
		1980–2005	39,6	40,0	0,087	1,72	–
18	р. Индигирка — ГМС Воронцово	1930–2005	99,5	104	0,101	0,938	–
		1930–1979	69,5	72,9	0,128	1,20	–
		1980–2005	162	163	–0,011	3,47	–
19	р. Колыма — г. Среднеколымск	1930–2005	252	252	0,001	1,46	–
		1930–1979	233	233	–0,008	2,14	–
		1980–2005	291	299	0,359	4,70	–
20	р. Камчатка — с. Нижне-Камчатск	1932–2005	8,56	8,60	–0,009	0,276	–
		1930–1979	9,10	9,60	0,051	0,452	–
		1980–2005	6,65	7,29	0,104	0,734	–
21	р. Амур — с. Богородское	1930–2005	4406	4464	–0,3456	6,131	–
		1930–1979	4605	4870	–1,13	9,769	–
		1980–2005	3329	3810	–2,87	16,775	–

Примечание. «+» — тренд значим; «–» — тренд незначим.

Оценка значимости линейного тренда рядов водных ресурсов бассейнов морей по методике И. И. Поляка

№ п/п	Бассейн моря	Период	Дисперсии		a_1	2σ	Значимость тренда
			$\bar{\sigma}^2$	σ^2			
1	Белое	1930–2005	134	131	0,159	1,06	–
		1930–1979	723	723	0,030	3,76	–
		1980–2005	313	301	0,459	4,81	–
2	Баренцево	1930–2005	109	77,8	0,611	0,957	–
		1930–1979	520	462	0,520	3,19	–
		1980–2005	539	431	1,36	6,31	–
3	Балтийское	1930–2005	0,778	0,77	0,072	0,081	–
		1930–1979	192	190	–0,106	1,94	–
		1980–2005	116	102	–0,480	2,92	–
4	Азовское	1930–2005	9,71	9,53	–0,056	0,286	–
		1930–1979	107	107	–0,033	1,45	–
		1980–2005	27,5	27,0	0,091	1,42	–
5	Чёрное	1930–2005	17,2	17,0	0,023	0,381	–
		1930–1979	20,0	18,6	–0,082	0,627	–
		1980–2005	12,0	11,7	–0,696	0,941	–
6	Карское	1930–2005	10550	9862	1,38	9,43	–
		1930–1979	14740	14660	0,611	17,0	–
		1980–2005	11758	9191	6,624	29,5	–
7	Лаптевых	1936–2005	3848	3501	0,745	6,18	–
		1936–1979	7412	7270	–0,287	13,71	–
		1980–2005	9295	8115	4,49	26,12	–
8	Восточно-Сибирское	1930–2005	230	229	0,134	1,39	–
		1930–1979	1977	1977	–0,004	6,22	–
		1980–2005	1824	1801	0,622	11,6	–
9	Чукотское	1936–2005	12,0	11,8	0,041	0,346	–
		1936–1979	40,9	40,3	0,058	1,02	–
		1980–2005	22,7	22,7	–0,009	1,29	–
10	Берингово и Тихий океан	1936–2005	173	172	–0,062	1,31	–
		1936–1979	629	628	–0,046	3,99	–
		1980–2005	981	980	–0,087	8,51	–
11	Охотское	1930–2005	1550	1501	–0,546	3,61	–
		1930–1979	5785	5649	–0,802	10,6	–
		1980–2005	2249	2225	–0,638	12,9	–
12	Японское	1936–2005	8,73	8,66	0,035	0,294	–
		1936–1979	74,26	74,0	–0,040	1,37	–
		1980–2005	47,0	46,8	–0,053	1,86	–
13	Каспийское	1930–2005	265	227	0,748	1,49	–
		1930–1979	2064	1954	0,719	6,359	–
		1980–2005	1060	1061	0,066	8,86	–
14	Бессточные области	1930–2005	30,5	30,5	–0,002	0,507	–
		1930–1979	2,12	2,06	–0,016	0,204	–
		1980–2005	1,08	0,995	0,038	0,282	–

Примечание. «+» — тренд значим; «–» — тренд незначим.

следние 25 лет — 0,50. Заметна корреляция ($r = 0,59$) для стока р. Енисей за последние 25 лет. По этим бассейнам, а также по р. Амур — с. Богородское (за последние 25 лет), р. Неман — г. Советск, р. Западная Двина — г. Велиж, присутствуют не значимые тренды, а их тенденции. Для остальных речных бассейнов и бассейнов морей России в колебаниях водных ресурсов не обнаруживаются даже тенденции трендов.

5.6. СИНХРОННОСТЬ И АСИНХРОННОСТЬ КОЛЕБАНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Вследствие изменения во времени суммарной солнечной радиации, атмосферной циркуляции и направления путей движения циклонов, выходящих на территорию нашей страны, постоянно изменяется температурный режим ее регионов, а также их увлажнение. В отдельных регионах атмосферные осадки колеблются около среднего многолетнего значения чисто случайным образом, а в других — в их колебаниях присутствуют группировки лет одинаковой увлажненности (засушливости) территории различной продолжительности.

В речном стоке также присутствуют группировки лет различной водности, обусловленные, в первую очередь, сочетаниями группировок лет метеорологических элементов.

Наличие однотипной водности речных бассейнов и бассейнов морей свидетельствует о некоей синхронности в их многолетних колебаниях. А это обстоятельство, в первую очередь, указывает на сходство их генезиса, обусловленного осадками, выпадающими из одних и тех же циклонов (Бабкин, Постников, 2002).

В другом случае водность речных бассейнов или бассейнов морей может не совпадать, что явно свидетельствует о различном генезисе речных вод рассматриваемых водосборов. В таком случае наблюдается асинхронность колебаний водных ресурсов (стока рек) крупнейших речных бассейнов или бассейнов морей.

Мерой синхронности (асинхронности) колебаний водных ресурсов речных бассейнов (бассейнов морей) является парный коэффициент корреляции, изменяющийся от минус единицы (синхронность противоположная — асинхронность) до плюс единицы (полная синхронность в колебаниях вод-

ных ресурсов бассейнов морей либо речных бассейнов).

Синхронность и асинхронность многолетних колебаний стока рек Советского Союза оценивалась неоднократно многими исследователями (Калинин, Давыдова, 1967; Калинин, 1968; Кузин, 1970; и др.).

Корреляция стока рек Советского Союза за период гидрологических наблюдений была опубликована в последнем обобщающем издании Государственного водного кадастра (Водные ресурсы СССР..., 1987).

За последние 20 лет водный режим рек нашей страны несколько отличался от его значений до 1987 г. Поэтому представляет существенный интерес корреляция водных ресурсов речных бассейнов за период с 1930 по 2005 г. для рек европейской части и с 1936 по 2005 г. для рек азиатской части нашей страны.

В табл. 5.13 приводится корреляционная матрица водных ресурсов бассейнов крупнейших рек Российской Федерации. Жирным шрифтом указаны значения коэффициентов корреляции, которые являются вполне достоверными (превышают погрешности их определения). Из таблицы следует, что рекам Российской Федерации свойственны большей частью либо слабо синхронные, либо асинхронные колебания. Лишь для ряда соседних речных бассейнов наблюдается довольно значительная корреляция (Онега и Северная Двина; Северная Двина и Волга; Западная Двина и Днепр; Днепр и Неман; Днепр и Волга; Кубань и Терек; Волга и Западная Двина; Енисей и Вилюй; Оленёк и Вилюй; Яна и Индигирка; Колыма и Индигирка и т. д.).

В табл. 5.14 представлены данные по коэффициентам корреляции водных ресурсов бассейнов морей Российской Федерации. Из таблицы следует, что водные ресурсы бассейнов морей, как правило, слабо связаны между собой. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции характерны для водных ресурсов Белого и Баренцева морей, Белого и Каспийского морей, Азовского и Чёрного морей, Чёрного и Каспийского морей, Восточно-Сибирского и Берингова морей. Сток бессточных областей лучше всего коррелирует с водными ресурсами Карского моря.

Очень важна оценка синхронности колебаний водных ресурсов крупнейших речных бассейнов и бассейнов морей. В табл. 5.15 приведены данные по коэффициентам корреляции между водными ресурсами крупнейших речных бассейнов и бассейнов

Корреляционная матрица водных ресурсов бассейнов морей Российской Федерации

Море	Белое	Баренцево	Балтийское	Азовское	Чёрное	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское	Чукотское	Берингово и Тихий океан	Охотское	Японское	Каспийское	Бессточные области
Белое	1,00	0,54	0,34	0,05	0,16	-0,01	0,17	-0,17	0,13	0,04	-0,10	0,09	0,54	0,09
Баренцево		1,00	0,18	-0,20	-0,03	0,32	0,30	-0,02	0,17	0,06	-0,14	0,13	0,23	0,07
Балтийское			1,00	-0,05	0,35	-0,15	0,05	0,10	0,27	0,11	0,16	0,06	0,38	-0,04
Азовское				1,00	0,45	-0,06	-0,18	0,01	-0,34	-0,16	0,20	0,06	0,32	0,16
Чёрное					1,00	0,08	0,03	0,05	-0,04	-0,07	0,15	0,04	0,48	0,14
Карское						1,00	0,07	0,01	0,06	0,09	-0,10	0,06	0,35	0,39
Лаптевых							1,00	-0,02	0,27	-0,04	-0,09	0,15	-0,04	0,06
Восточно-Сибирское								1,00	0,11	0,43	-0,07	-0,13	0,03	-0,05
Чукотское									1,00	0,39	0,08	-0,02	0,17	0,05
Берингово и Тихий океан										1,00	0,28	0,08	0,14	-0,03
Охотское											1,00	0,30	0,12	0,18
Японское												1,00	0,17	-0,06
Каспийское													1,00	0,31
Бессточные области														1,00

Таблица 5.15

Коэффициенты корреляции водных ресурсов бассейнов морей и основных речных бассейнов Российской Федерации

Река \ Море	Белое	Баренцево	Балтийское	Азовское	Чёрное	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское	Чукотское	Берингово и Тихий океан	Охотское	Японское	Каспийское	Бессточные области
Печора	0,44	0,98	0,20	-0,23	0,01	0,36	0,28	0,01	0,18	0,07	-0,13	0,11	0,23	0,05
Северная Двина	0,91	0,38	0,30	0,12	0,23	0,04	0,03	-0,15	0,07	0,03	-0,04	0,06	0,64	0,20
Онега	0,77	0,31	0,45	0,13	0,22	-0,10	0,18	-0,14	0,13	-0,02	0,11	0,05	0,48	0,23
Нева	0,25	0,17	0,94	-0,11	0,20	-0,23	0,07	0,07	0,22	0,04	0,13	0,11	0,20	-0,15
Западная Двина	0,43	0,04	0,62	0,00	0,51	-0,01	-0,02	0,05	0,25	0,11	0,03	-0,05	0,51	0,11
Неман	0,11	-0,03	0,38	0,32	0,49	0,03	-0,03	0,07	0,14	-0,09	0,09	0,02	0,33	0,12
Днепр	0,37	0,05	0,46	0,22	0,77	0,08	0,06	0,03	0,19	0,09	0,21	0,04	0,51	0,23
Дон	0,04	-0,19	-0,07	0,95	0,45	-0,02	-0,24	-0,01	-0,35	-0,15	0,21	0,09	0,36	0,19
Кубань	-0,06	-0,17	-0,09	0,51	0,10	-0,16	0,04	0,11	-0,16	-0,07	0,02	-0,14	-0,13	-0,01
Терек	-0,22	-0,10	-0,34	0,13	-0,14	-0,09	0,24	0,09	-0,09	-0,02	0,02	-0,09	-0,21	-0,02
Волга	0,47	0,22	0,35	0,33	0,48	0,35	-0,06	0,02	0,12	0,09	0,07	0,09	0,90	0,28
Обь	-0,01	0,14	-0,19	-0,03	0,00	0,87	-0,16	-0,05	0,06	0,10	-0,06	0,02	0,42	0,40
Енисей	-0,02	0,32	0,01	-0,12	0,15	0,67	0,40	0,06	0,06	0,00	-0,09	0,09	0,06	0,23
Ангара	-0,29	-0,28	-0,18	-0,05	0,09	0,20	-0,02	0,04	-0,14	0,03	-0,02	0,07	-0,19	0,08
Оленёк	0,07	0,22	-0,16	-0,08	0,07	0,12	0,53	0,11	0,00	-0,09	-0,20	-0,06	-0,07	-0,01
Лена	0,18	0,26	0,23	-0,13	0,05	0,02	0,90	-0,05	0,27	-0,04	0,01	0,13	0,02	0,06
Вилуй	0,16	0,32	-0,03	-0,11	0,16	0,16	0,63	0,04	0,11	-0,08	-0,18	0,01	0,07	-0,02
Яна	0,02	0,00	0,08	-0,26	-0,16	-0,08	0,36	0,39	0,15	0,13	-0,14	-0,11	-0,07	0,07
Инди-Гирка	-0,09	0,03	0,12	-0,16	-0,07	-0,04	0,16	0,74	0,06	0,27	-0,10	-0,03	0,01	-0,05
Колыма	-0,22	-0,12	-0,01	0,11	0,08	0,07	-0,19	0,92	0,05	0,41	-0,01	-0,15	0,02	-0,02
Камчатка	-0,01	-0,02	-0,24	-0,02	-0,20	-0,06	0,02	0,19	0,06	0,41	0,24	-0,11	-0,15	-0,18
Амур	0,00	-0,11	0,25	0,13	0,23	-0,08	-0,10	-0,34	0,05	-0,01	0,81	0,35	0,17	0,21

морей. Из табл. 5.15 следует, что водные ресурсы бассейнов морей, как правило, синхронно связаны с водными ресурсами тех крупнейших речных бассейнов, которые являются их составными частями. Например, сток Северной Двины синхронен водным ресурсам Белого моря. Для этого моря водные ресурсы также связаны со стоком р. Онега. Между стоком р. Печора и водными ресурсами Баренцева моря существует почти функциональная связь, что объясняется особенно большим вкладом стока этой реки в водные ресурсы указанного бассейна моря. Также очень высокая корреляция существует между водными ресурсами Балтийского моря и стоком р. Нева ($r=0,94$). Корреляция между стоком Западной Двины и водными ресурсами Балтийского моря также весьма высокая ($r=0,62$). Однако она значительно ниже, чем указанная выше, вследствие того обстоятельства, что на территории России расположено лишь верховье бассейна Западной Двины, а большая часть бассейна находится за пределами нашего государства (в Белоруссии и Латвии), на которой формируется значительный объем водных ресурсов рассматриваемого речного бассейна.

Водные ресурсы бассейна Азовского моря синхронно колеблются с ресурсами бассейна Дона ($r=0,95$), а бассейна Чёрного моря — с водными ресурсами Днепра.

Водные ресурсы речных бассейнов величайших рек мира (Оби и Енисея) имеют высокие значения коэффициентов корреляции с бассейном Карского моря (соответственно $r=0,87$ и $r=0,67$), а сток р. Лена с коэффициентом корреляции $r=0,90$ коррелирует с водными ресурсами бассейна моря Лаптевых.

Водные ресурсы бассейна Восточно-Сибирского моря тесно коррелируют с водными ресурсами бассейнов основных рек, впадающих в это море: р. Колыма ($r=0,92$).

5.7. ВНУТРИГODOVое РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК

5.7.1. Общая характеристика

В распределении стока рек в течение года определяющую роль играют климатические факторы. Главные факторы внутригодичного распределения стока: общая увлажненность бассейнов, характеризующаяся годовой суммой осадков, особенностью

их выпадения в разные сезоны, включая интенсивность и продолжительность; температура воздуха, определяющая вид осадков (жидкие или твердые); испаряемость, от которой зависит верхний предел испарения с суши и которая в свою очередь определяется радиационным балансом; влажность воздуха. Поскольку пространственные изменения климатических характеристик подчиняются определенным закономерностям, то эти закономерности должны отражаться и в водном режиме рек. Однако механизм преобразования осадков, выпавших на водосбор, в речной сток чрезвычайно многообразен и в значительной степени зависит от факторов подстилающей поверхности, к которым относятся растительный и почвенный покров, геоморфология, озерность, заболоченность и др., а также от гидрогеологических условий. В зависимости от их особенностей распределение стока конкретных водотоков может существенно отличаться от водного режима рек, характерного для региона с одинаковыми климатическими условиями. Например, хорошо известно регулирующее влияние на внутригодичный ход стока озер, леса, болот, легко проницаемых почво-грунтов. Из перечисленных выше факторов наиболее значительное воздействие оказывают озера. На рис. 5.13 в качестве примера, приведены данные, характеризующие внутригодичное распределение стока р. Вуокса в естественных условиях (до ее зарегулирования). В отличие от рек северо-запада ЕТР с незначительной озерностью, на которых четко выделяется весеннее половодье, летне-осенняя и зимняя межени, на р. Вуокса наблюдается практически равномерный сток в течение года в маловодные и средние по водности годы и повышенный сток в течение всего теплого периода — в многоводные годы.

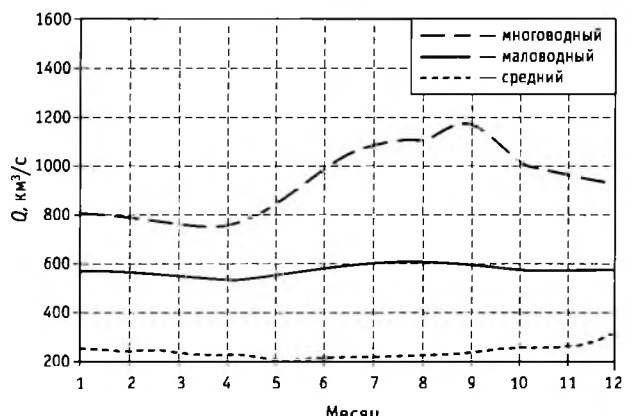


Рис. 5.13. Внутригодичное распределение стока р. Вуокса

На внутригодичное распределение стока очень существенное влияние может оказывать хозяйственная деятельность человека. Это прежде всего относится к мероприятиям по искусственному регулированию стока. В результате сооружения водохранилищ распределение стока в течение года может в корне измениться, подчиняясь потребностям определенных отраслей экономики. В качестве примера, на рис. 5.14 приведены данные по внутригодичному распределению стока р. Волга у г. Ярославля до и после сооружения Рыбинского водохранилища. То же самое можно сказать и о влиянии крупных водозаборов воды, в особенности перебросок стока. На рис. 5.15 представлено внутригодичное распределение стока р. Кубань у хут. Дегтяревского, характерное для естественного водного режима, а также для современных условий, когда значительная часть стока реки забирается в Большой Ставропольский и Невинномысский каналы.

Факторы хозяйственной деятельности, изменяющие условия формирования стока в результате преобразования подстилающей поверхности (агротехнические мероприятия, вырубка лесов и лесовосстановление, осушение болот, урбанизация и др.), также оказывают существенное влияние на распределение стока внутри года. Подробно этот вопрос будет рассмотрен в гл. 9.

Конечно, каждая река, в силу индивидуальных особенностей ее водосбора, обладает свойственным только ей водным режимом. Однако во всем их многообразии можно выделить некоторые общие элементы, определяемые прежде всего климатическими факторами, что позволяет классифицировать реки по основным характерным чертам их внутригодичного распределения стока. Существует несколько классификаций рек по характеру внутригодичного распределения стока (Зайков, 1946; Кузин, 1960;

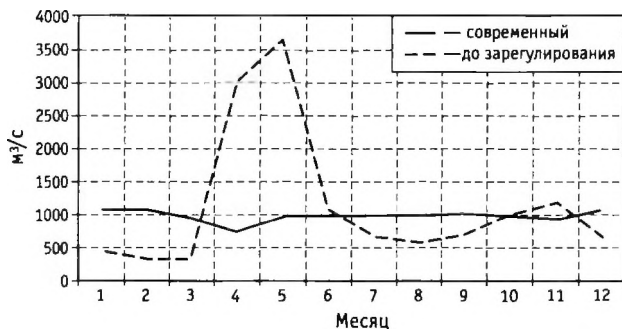


Рис. 5.14. Внутригодичное распределение стока р. Волга у г. Ярославль

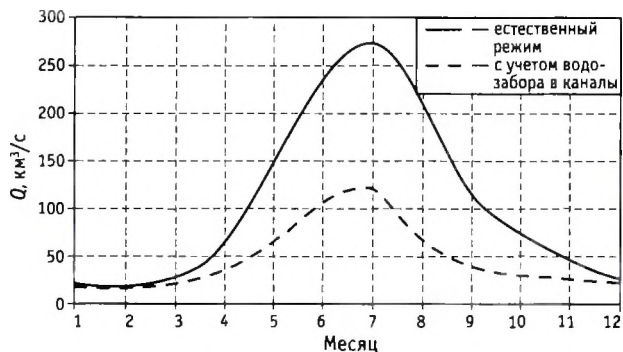


Рис. 5.15. Внутригодичное распределение стока р. Кубань у хут. Дегтяревского при естественном режиме функционирования Большого Ставропольского и Невинномысского каналов

Львович, 1938). Все они относятся к рекам с естественным или близким к естественному водным режимом.

Б. Д. Зайков (Зайков, 1946) разделил все реки бывшего СССР на три основные группы.

К первой группе, к которой принадлежит большинство рек России, отнесены реки, водный режим которых характеризуется четко выраженным весенним половодьем, во время которого проходит большая часть годового стока (от 50% до 100%). В свою очередь, в зависимости от особенностей весеннего половодья и стока в остальную часть года, реки этой группы подразделяются на пять типов:

1. Восточноевропейский тип — высокое половодье, низкая летняя и зимняя межень, повышенный сток осенью.
2. Западносибирский тип — невысокое растянутое половодье, повышенный летне-осенний сток и низкая зимняя межень.
3. Восточносибирский тип — высокое половодье, регулярные летне-осенние паводки и очень низкая зимняя межень.
4. Казахстанский тип — очень резкое и высокое половодье и очень низкая водность (вплоть до пересыхания) в остальное время года.
5. Алтайский тип — невысокое, растянутое, имеющее гребенчатый тип половодья, повышенный летний сток и низкий сток зимой.

Ко второй группе относятся реки с весенним половодьем и летними паводками, на которых период снеготаяния совпадает с началом летних дождевых паводков, в результате чего высокий сток поддерживается в течение большей части теплого периода. В этой группе рек выделяется два типа:

1. Дальневосточный тип, характеризующийся высоким стоком в весенне-летний период и очень

низким зимним стоком, при этом высокая водность летом формируется дождями.

2. Тянь-Шаньский тип — высокий весенне-летний сток, основная волна которого формируется от таяния снегов и ледников в горной части бассейнов рек.

Третья группа объединяет реки с паводочным режимом. На территории страны рек, имеющих паводочный режим, значительно меньше по сравнению с реками первых двух групп. В соответствии с районами, где они протекают, подразделяются на два типа:

1. Причерноморский тип внутригодового распределения стока с паводочным режимом в течение всего года.

2. Северокавказский тип с паводочным режимом в теплую и устойчивой меженью в холодную части года.

Перечисленные выше типы внутригодового распределения стока рек России, как уже отмечалось, дают представление только о главных его особенностях, отражающих влияние климатических факторов. Даже внутри достаточно однородных в физико-географическом отношении районов можно выделить подтипы рек, имеющие отличительные особенности распределения стока по сезонам и месяцам. Результаты детального районирования территории страны по внутригодовому распределению стока рек можно найти в серии изданий «Ресурсы поверхностных вод СССР», подготовленных в конце 1960-х — начале 1970-х гг.

Рассматривая водный режим рек страны, нельзя не отметить классификацию М. И. Львовича (Львович, 1938), разработанную в результате анализа не только внутригодового распределения стока рек, но и источников их питания. Количественные оценки источников питания — снегового, ледникового, дождевого и грунтового, были выполнены путем расчленения гидрографов стока. В зависимости от вкладов отдельных источников питания в общий годовой сток, реки подразделяются на следующие типы:

- реки чисто снегового питания (снеговое питание составляет более 80% годового);
- реки чисто дождевого питания (дождевое питание составляет более 80% годового);
- реки преимущественно снегового питания (снеговое питание составляет более 50% годового);
- реки преимущественно дождевого питания (дождевое питание составляет более 50% годового);
- реки смешанного питания, вклад каждого из источников питания составляет менее 50%.

В соответствии с разработанной классификацией М. И. Львович районировал территорию СССР по источникам питания.

Говоря о классификациях рек по характеру внутригодового распределения стока, районированию по особенностям водного режима и источникам питания, следует иметь в виду, что речь идет о среднемноголетних условиях. В каждом конкретном году в зависимости от погодных условий распределение стока в течение года имеет в значительной мере случайный характер и может существенно отличаться от типовых схем. Однако, как убедительно показано в монографиях «Ресурсы поверхностных вод СССР», при осреднении за 20–30 лет распределение стока по сезонам и месяцам является очень устойчивым и при сравнении за различные многолетние периоды отличается весьма незначительно. Вместе с тем следует иметь в виду, что фундаментальные исследования по водному режиму рек страны были выполнены несколько десятилетий тому назад. За прошедшие после этого годы отчетливо обозначился процесс потепления климата, для большей части территории РФ особенно интенсивное повышение температур воздуха наблюдается с конца 1970-х гг.

В этой связи чрезвычайно важно исследовать многолетнюю динамику сезонного и месячного стока рек, включая данные наблюдений за последние годы.

5.7.2. Многолетняя динамика; влияние потепления климата

В соответствии с данными наблюдений на мировой метеорологической сети, с 1970-х гг. отмечается четкий тренд повышения глобальной температуры воздуха, причиной которого большинство климатологов считает увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере (IPCC 1995, 2001, 2007). При этом в течение целого ряда лет в этот период глобальная температура была выше, чем за все 150 лет метеорологических наблюдений. Представляет большой теоретический, а также и практический интерес выявление реакции на это потепление водных ресурсов и водного режима рек на территории России.

В связи с этим в ГГИ для количественной оценки происходящих изменений водных ресурсов и водного режима рек России, выявления особенностей этих изменений в различных физико-геогра-

фических зонах и их причин, а также районирования территории страны по их направленности и интенсивности, был разработан и реализован методологический подход, основные положения которого излагаются ниже.

5.7.2.1. Общий методологический подход

В связи с происходящими в последние десятилетия климатическими изменениями, прежде всего — повышением приземной температуры воздуха, чрезвычайно важно выявить реакцию стока в пределах конкретных бассейнов и регионов на это потепление. Основой диагноза современных изменений речного стока на территории России является комплексный статистический анализ динамики весеннего, летне-осеннего и зимнего стока средних рек, а также его внутригодового распределения. Выбор в качестве объектов исследований средних рек очевиден, поскольку динамика их стока определяется, прежде всего, климатическими факторами, а их бассейны являются репрезентативными для соответствующих физико-географических зон.

Выбор створов производился с учетом следующих условий:

1. Для объективной количественной оценки возможных направленных изменений сезонного и месячного стока рек использовались ряды с продолжительностью наблюдений 55 и более лет и отсутствием или минимальным количеством пропусков в наблюдениях.

2. При анализе динамики изменений стока и его внутригодового распределения под влиянием климатических факторов не использовались данные по створам, выше которых имеются водохранилища сезонного или многолетнего регулирования, или осуществляются значительные водозаборы.

С учетом соблюдения перечисленных выше условий был подготовлен архив данных по месячному стоку 300 рек, расположенных в пределах Российской Федерации и сопредельных территорий. По большинству рек архив включает данные по 2005 г. включительно. Следует отметить, что по ряду бассейнов — Лены, Индигирки, Яны — были использованы также данные и по более крупным рекам, поскольку большинство средних рек в этих бассейнах зимой замерзает.

Выделение гидрологических сезонов (весна, лето—осень, зима) было выполнено для каждой реки на основе анализа многолетних данных по внутригодовому распределению стока. При этом

период весеннего половодья включал наиболее ранние и поздние сроки его начала и окончания.

Данные по сезонному и месячному стоку средних рек с естественным водным режимом явились информационно основой для оценки гидрологических последствий потепления последних десятилетий, которая производилась в следующей последовательности.

На первом этапе выполнялся комплексный статистический анализ рядов сезонного и месячного стока с целью выявления возможных резких изменений (переломов во временном ходе) в многолетних колебаниях водности, вызванных климатическими факторами.

На втором этапе оценивались изменения сезонного и месячного стока рек в последние десятилетия, в течение которых на преобладающей части территории страны произошло наиболее существенное повышение температуры воздуха за весь период инструментальных наблюдений.

Исходные позиции при обосновании такой оценки следующие. Со второй половины 1970-х гг. на территории России преобладают положительные аномалии температуры воздуха. В соответствии с данными по изменениям аномалий приземной температуры воздуха в 1976–2006 гг. в целом для России потепление составило около 1,4 °С, при этом наиболее значительное повышение температуры воздуха было на европейской территории зимой (Груза, Ранькова, 2004; 2007). В целом потепление в последние 25–30 лет превысило потепление 1930-х гг. В распределении аномалий температуры воздуха по территории в этот период отмечается усиление пространственной связанности аномалий: зимой и весной область положительных аномалий охватывает европейскую и азиатскую части России (Анисимов и др., 2003; Антропогенные воздействия... 2003). С конца 1970-х гг. отмечается ряд аномальных природных процессов, одним из наиболее ярких примеров которых является резкое повышение уровня Каспийского моря с 1978 г. Для всех рассматриваемых рек была выполнена оценка изменений среднего за период 1978–2005 гг. годового, сезонного и месячного стока по отношению к среднему за предшествующий многолетний период времени. В целях более детального выявления особенностей современных изменений водного режима рек аналогичные расчеты были выполнены для двух последних десятилетий.

Поскольку на большинстве выбранных рек непрерывные наблюдения за стоком ведутся в послевоенные годы, то в качестве расчетного периода.

относительно которого рассчитывались современные изменения водности, был принят период 1946–1977 гг. Для створов с наиболее продолжительными рядами наблюдений в целях оценки влияния выбора базового расчетного периода на результаты оценок современных изменений стока использовались также данные за весь период наблюдений, т. е. в качестве базового был принят период с начала наблюдений по 1977 г. включительно.

На третьем этапе с целью оценки интенсивности происходящих изменений водности рек и их статистической значимости были выполнены расчеты трендов месячного и сезонного стока. Анализ направленных изменений в многолетних рядах стока, в соответствии с принятым методологическим подходом, заключался в следующем. Для всех рядов сезонного и месячного стока рассчитывались параметры линейных трендов методом наименьших квадратов для периода 1946–2005 гг., а также за весь период наблюдений. Оценка статистической значимости трендов проводилась в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе И. И. Поляка (Поляк, 1975). При этом для принятия гипотезы о наличии линейного тренда был принят 95%-й уровень значимости.

В полном объеме изложенная выше методика статистического анализа была использована применительно к стоку средних рек, многолетняя динамика которого определяется климатическими факторами. Ниже проиллюстрируем реализацию изложенного выше методического подхода на примере анализа стока р. Юг у д. Подосиновец (пло-

щадь водосбора 15 200 км²), расположенной в лесной зоне ЕТР. В табл. 5.16 и 5.17 приведены результаты оценки параметров линейных трендов за все месяцы, а также сезоны года за многолетние периоды 1931–2005 гг. и 1946–2005 гг.

Как следует из этих данных, изменение периода, за который рассчитывались тренды, принципиально не повлияло на вывод о том, что повышение стока в зимние месяцы является значимым при доверительной вероятности 0,95.

На рис. 5.16 приведены графики динамики среднемесячных расходов воды, из которых следует, что со второй половины 1970-х гг. наблюдается существенное увеличение стока в декабре, январе, феврале и марте. Расчеты показали, что для этих месяцев не подтверждается гипотеза однородности стока при разбивке всего ряда наблюдений на два периода: 1930–1977 и 1978–2005 гг. Аналогичный вывод получен и при разделении ряда на периоды 1946–1977 и 1978–2005 гг. На рис. 5.17 приведены данные, характеризующие изменение среднего месячного стока реки за период 1978–2005 гг. по отношению к среднему за период 1931–1977 гг. Как следует из этих данных, сток в зимние месяцы за последние 28 лет увеличился по сравнению со средним стоком за предшествующий многолетний период на 45–55%.

Подобным образом произведен анализ для всех выбранных средних рек, и его результаты обобщались применительно к бассейнам больших рек и отдельных физико-географических регионов, а также для территории России в целом, о чем будет изложено в следующем разделе.

Таблица 5.16

Оценка параметров линейных трендов среднемесячных и сезонных расходов воды р. Юг у д. Подосиновец за 1931–2005 гг.

Месяц сезон	Средний (Q_{cp}), м ³ /с	Коэффициент вариации (C_v)	α_1 , м ³ /с	σ_{α_1}	$2\sigma_{\alpha_1}$	Тренд в % от $Q_{ср}$	Значимость тренда
Январь	31,1	0,35	0,32	0,06	0,11	76,6	значим
Февраль	28,1	0,28	0,23	0,04	0,08	62,3	значим
Март	29,7	0,28	0,24	0,04	0,09	61,7	значим
Апрель	325	0,55	0,92	0,95	1,90	20,8	незначим
Май	473	0,49	-0,23	1,21	2,41	-3,7	незначим
Июнь	129	0,64	0,07	0,44	0,87	4,0	незначим
Июль	83,2	0,80	0,32	0,35	0,70	28,7	незначим
Август	56,3	0,73	0,31	0,22	0,43	40,9	незначим
Сентябрь	63,2	1,09	-0,14	0,36	0,72	-16,1	незначим
Октябрь	88,9	0,82	-0,38	0,38	0,76	-31,8	незначим
Ноябрь	71,8	0,57	0,10	0,21	0,43	10,2	незначим
Декабрь	41,7	0,46	0,41	0,10	0,20	73,7	значим
Весна	308	0,24	0,20	0,40	0,80	4,8	незначим
Лето—осень	73,2	0,62	0,08	0,24	0,49	8,4	незначим
Зима	32,5	0,27	0,30	0,05	0,09	68,7	значим

Оценка параметров линейных трендов среднемесячных и сезонных расходов воды реки Юг у д. Подосиновец за 1946–2005 гг.

Месяц сезон	Средний ($Q_{ср}$), м ³ /с	Коэффициент вариации (C_v)	α_1 , м ³ /с	σ_{α_1}	$2\sigma_{\alpha_1}$	Тренд в % от $Q_{ср}$	Значимость тренда
Январь	33,7	0,31	0,32	0,07	0,15	57,3	значим
Февраль	29,9	0,25	0,25	0,05	0,11	51,8	значим
Март	31,1	0,27	0,30	0,06	0,12	59,2	значим
Апрель	328	0,57	2,03	1,33	2,66	37,8	незначим
Май	492	0,49	-2,78	1,72	3,43	-34,5	незначим
Июнь	128	0,68	0,18	0,62	1,24	8,4	незначим
Июль	85,8	0,83	0,35	0,51	1,02	24,9	незначим
Август	60,8	0,72	0,09	0,31	0,63	9,3	незначим
Сентябрь	67,2	1,10	-0,65	0,53	1,05	-58,5	незначим
Октябрь	90,8	0,84	-0,89	0,54	1,09	-60,1	незначим
Ноябрь	73,9	0,57	-0,10	0,30	0,60	-7,9	незначим
Декабрь	45,4	0,42	0,35	0,13	0,27	46,7	значим
Весна	315	0,25	-0,29	0,57	1,14	-5,6	незначим
Лето—осень	76,4	0,64	-0,19	0,35	0,71	-14,6	незначим
Зима	34,9	0,24	0,31	0,06	0,12	52,6	значим

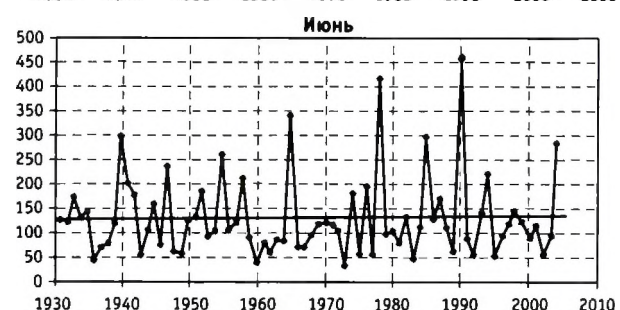
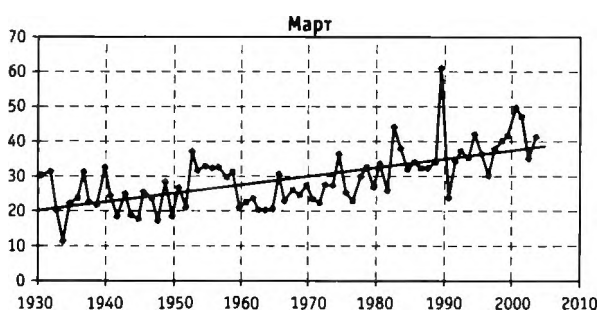
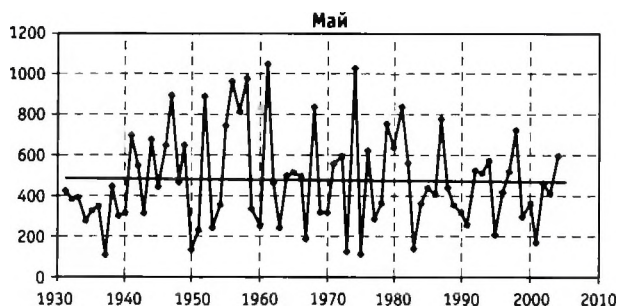
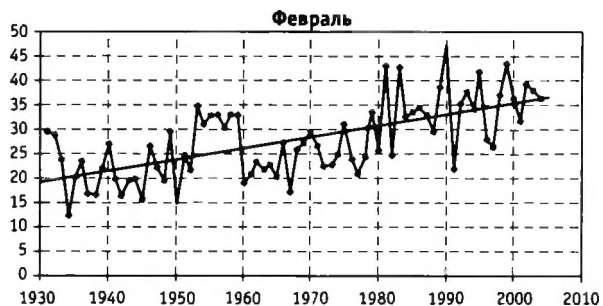
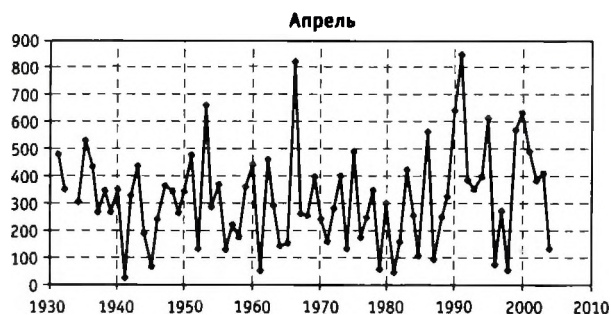


Рис. 5.16. Многолетняя динамика среднемесячных расходов воды (м³/с) р. Юг, пгт Подосиновец

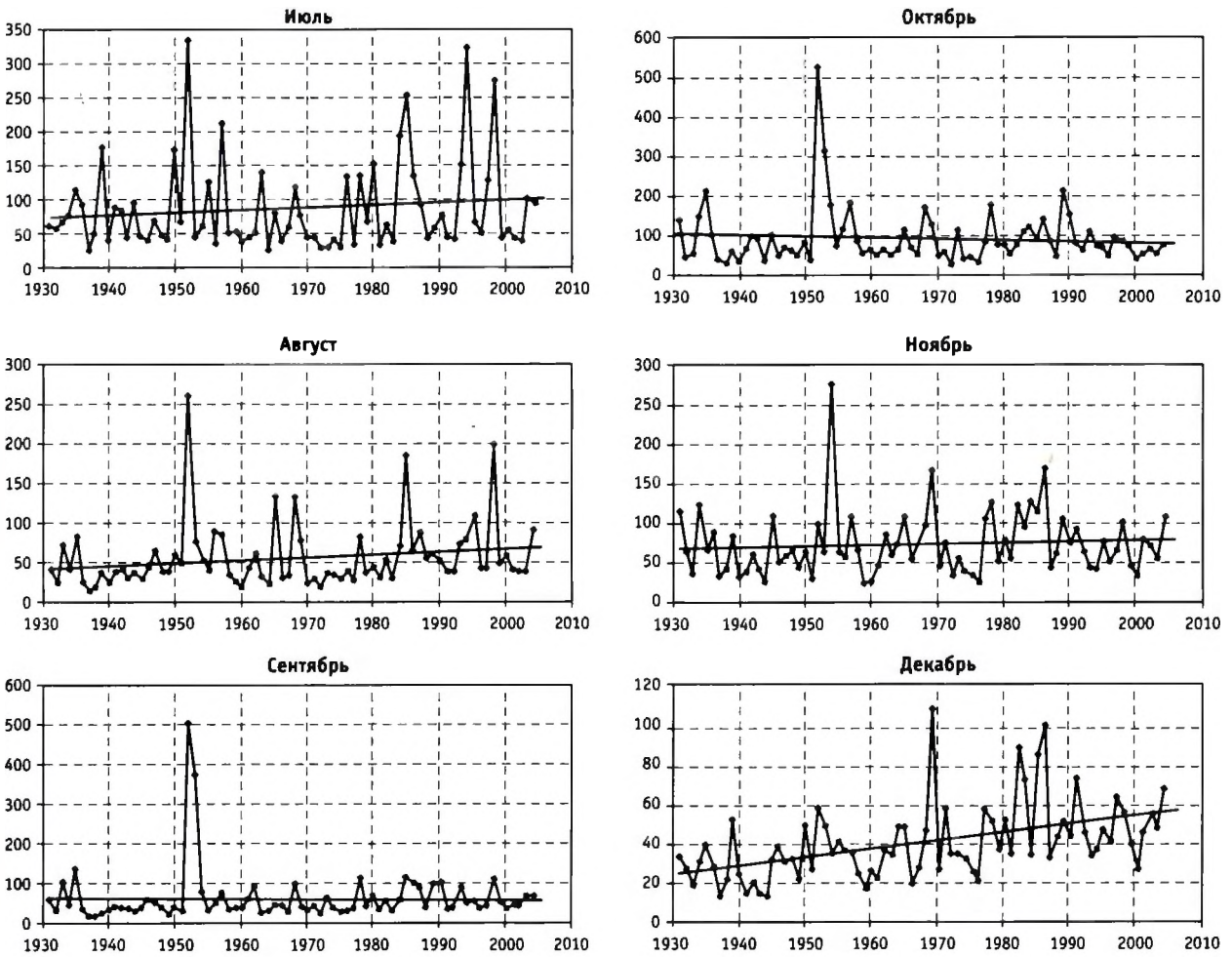


Рис. 5.16. Окончание

Дополнительно была выполнена оценка изменений сезонного стока малых рек, расположенных на ЕТР, произошедших с конца 1970-х гг., по отношению к норме. Всего было отобрано 196 рек. Критерии отбора были следующие: площади водосбора рек не должны превышать 2,5 тыс. км², а период наблюдений за стоком должен быть не менее 30 лет. Не использовались данные по стоку рек, для которых в официальных изданиях Государственного водного кадастра имелись сведения о нарушениях их водного режима в результате регулирования стока или заборов и сбросов воды. Следует подчеркнуть, что такой подход не гарантирует, что водный режим этих рек является естественным. Хорошо известно, что на малых реках широкое развитие имеет строительство прудов, зачастую несанкционированное, о которых отсут-

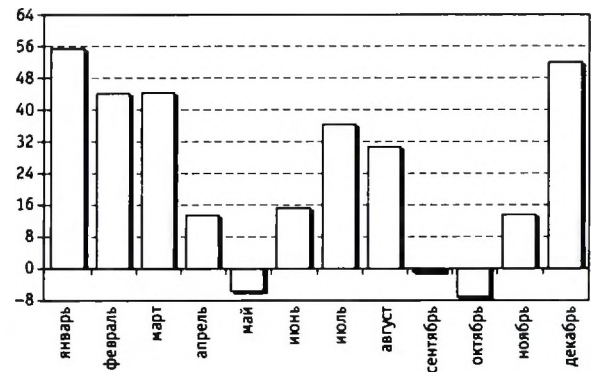


Рис. 5.17. Изменения среднего месячного стока р. Юг за период 1978–2005 гг. по отношению к среднему за 1931–1977 гг., %

ствуют какие-либо сведения, происходят изменения в структуре поверхности их водосборов, имеются неучтенные водозаборы и сбросы воды. Особенно это относится к южной части ЕТР. Вместе с тем использование стоковых данных почти по 200 рекам с наиболее продолжительным периодом наблюдений позволяет выявить основные фоновые особенности современных изменений сезонного стока малых рек. В частности, очень важно было проверить пропагандируемый в популярной литературе тезис о массовом «истощении» малых рек.

5.7.2.2. Современные изменения водного режима

В ГГИ исследования изменений водности рек в условиях происходящего потепления климата ведутся с конца 1980-х гг. Основные результаты этих исследований представлены в (Георгиевский и др., 1996а; Георгиевский и др., 1996б; Георгиевский и др., 1997; Шикломанов, Георгиевский, 1995; 2000; 2002; 2003; 2004; Шикломанов и др., 2003; Georgievsky et al., 1995; 1998; Georgievsky, 1998;

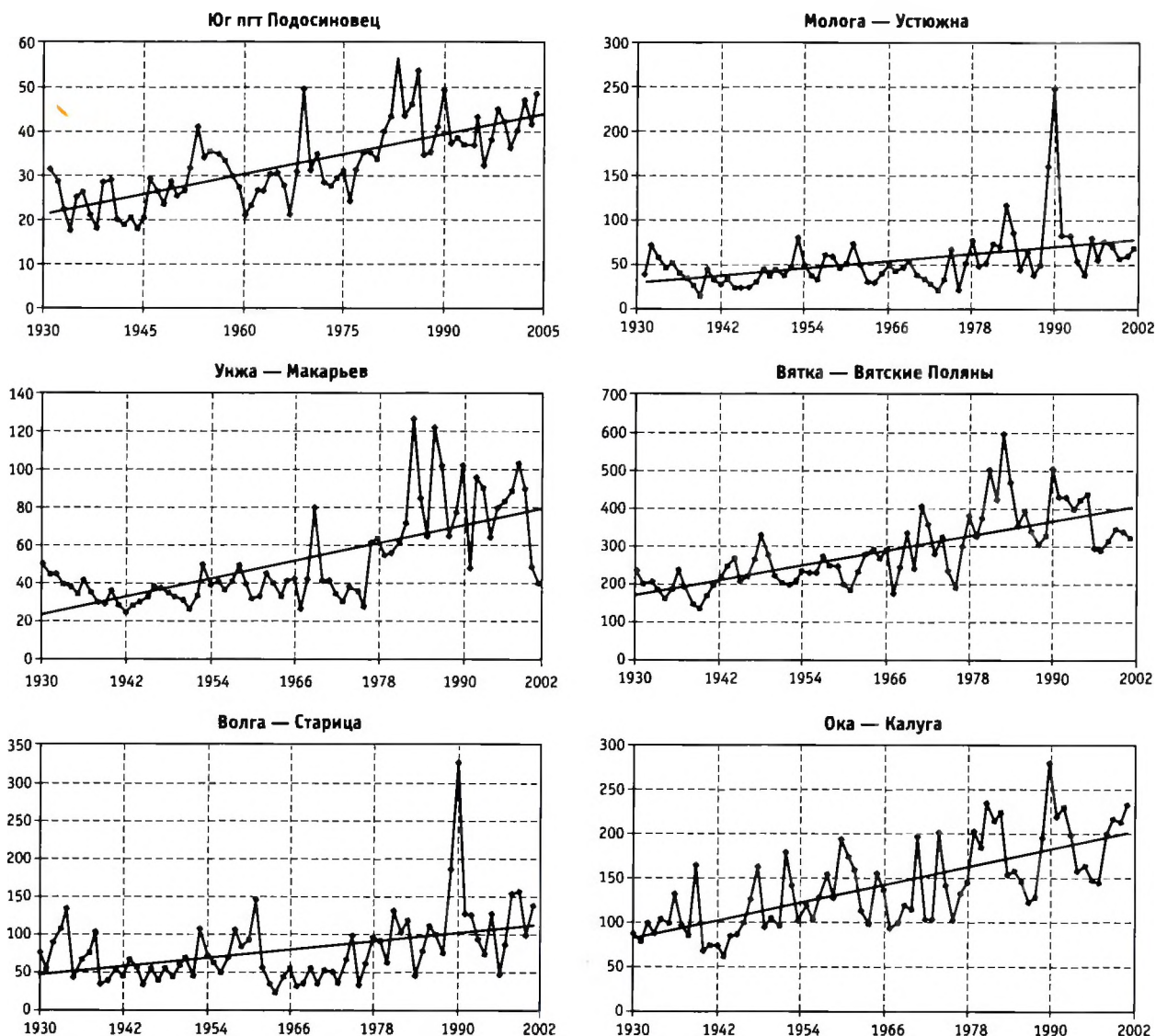


Рис. 5.18. Многолетняя динамика зимнего стока ($\text{м}^3/\text{с}$) рек лесной зоны ЕТР

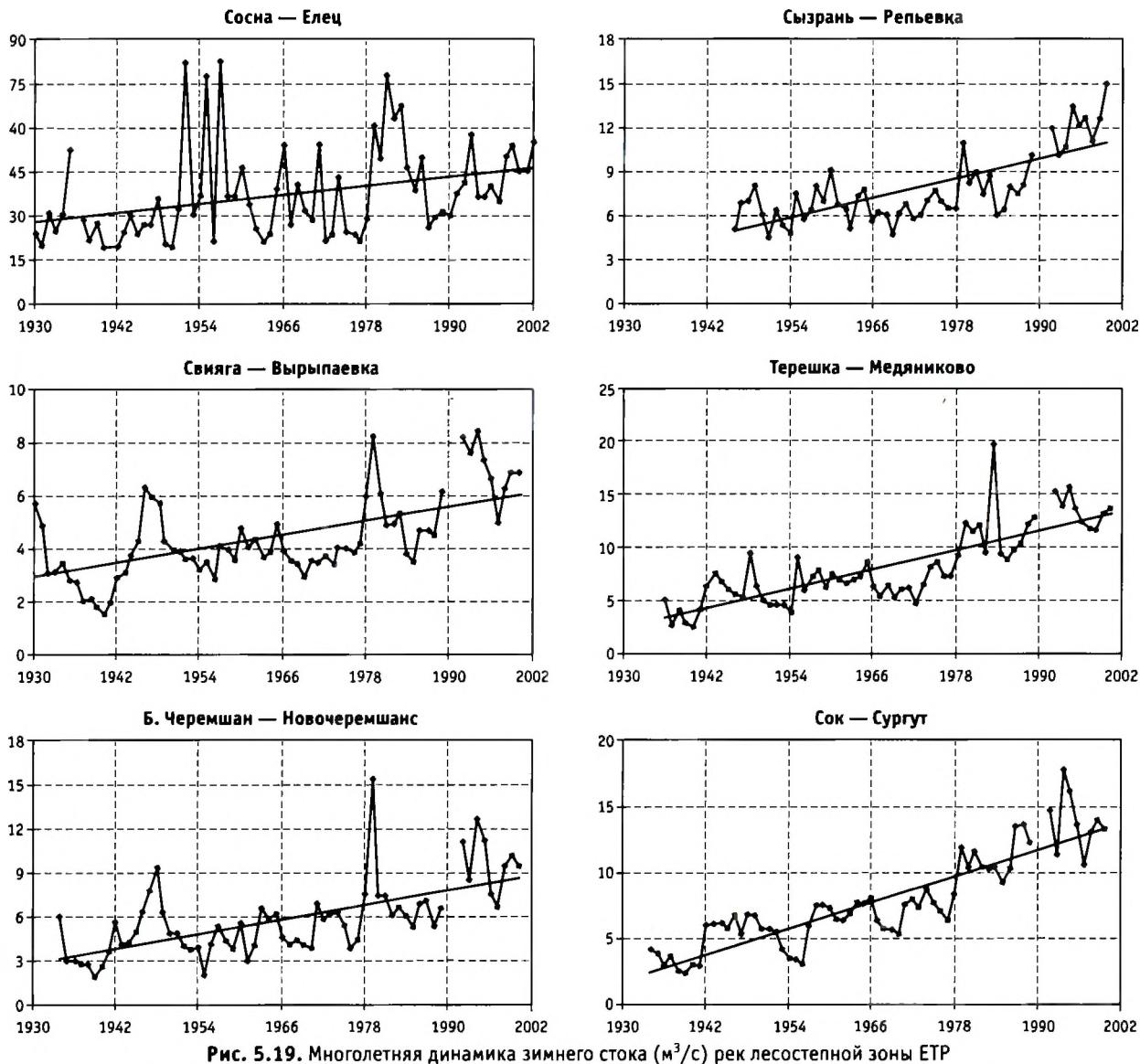


Рис. 5.19. Многолетняя динамика зимнего стока ($\text{м}^3/\text{с}$) рек лесостепной зоны ЕТР

Georgiyevsky, Shiklomanov, 2003; Shiklomanov, Georgiyevsky, 1992).

В настоящем разделе приводятся уточненные оценки, полученные с использованием данных наблюдений преимущественно по 2005 г. включительно и с учетом ранее выполненных работ. Ниже рассмотрим основные особенности современных изменений сезонного стока рек России.

Зимний сток. Основной особенностью современных изменений сезонного стока рек является увеличение в последние десятилетия их водности в зимний сезон практически на всей территории стра-

ны. Наиболее четко рост зимнего стока прослеживается для ЕТР от верхней части бассейна Северной Двины до низовьев Дона и Волги (см. цв. вкл., рис. 5). В этом регионе водность рек в холодный сезон года в 1978–2005 гг. была на 50–120% выше, чем за предшествующий многолетний период времени. Здесь для большинства рек выявлены положительные тренды зимнего стока, которые являются значимыми при доверительной вероятности 95%. Этот вывод хорошо иллюстрируется представленными на рис. 5.18–5.21 данными по динамике зимнего стока ряда рек, расположенных в лесной,

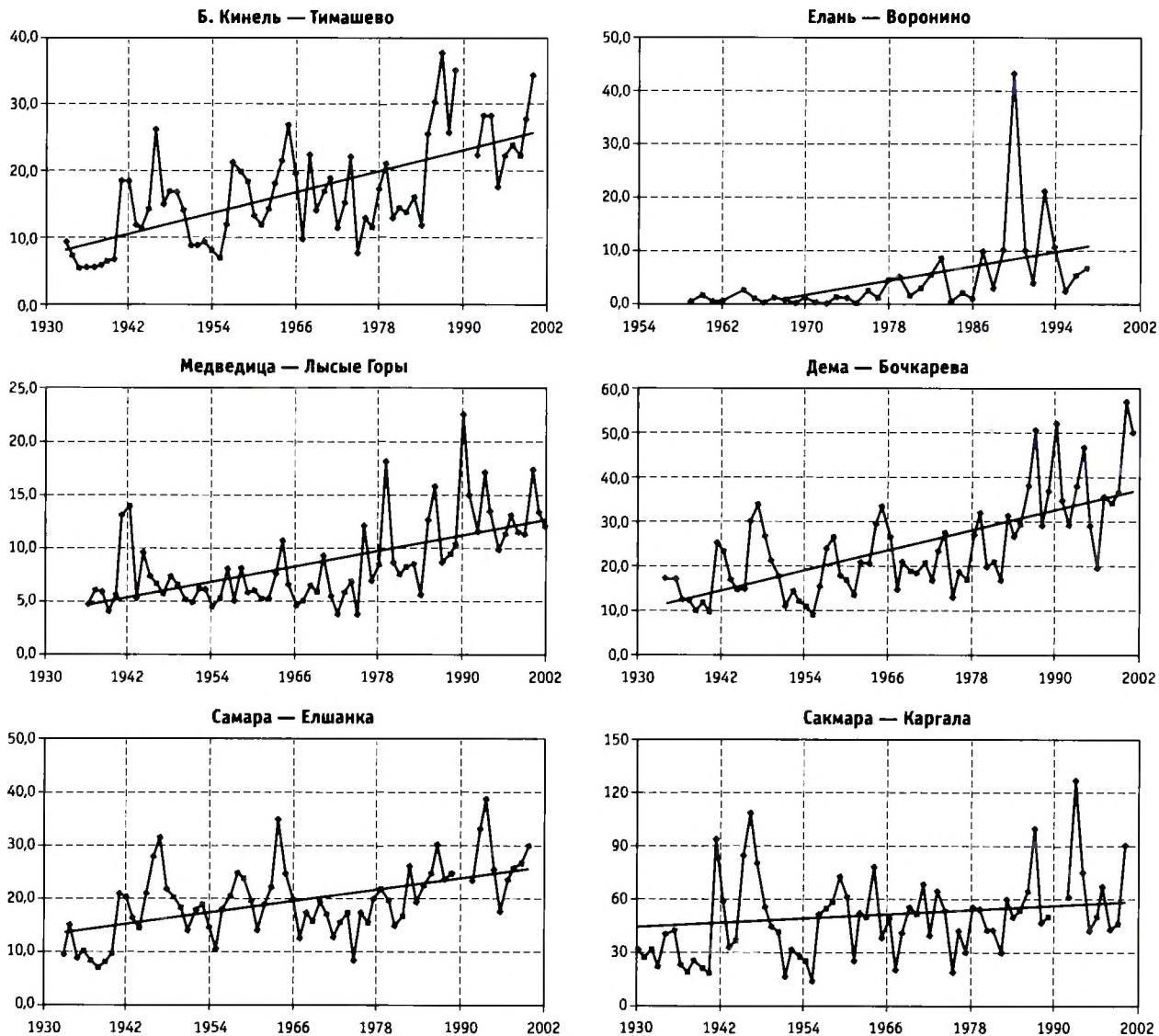


Рис. 5.20. Многолетняя динамика зимнего стока ($\text{м}^3/\text{с}$) рек степной зоны ЕТР

лесостепной и степной зонах. В последние десятилетия в большинстве лет сток рек за холодный сезон значительно превышал среднегодовое. Важно подчеркнуть, что выявленное увеличение зимнего стока обусловлено его ростом во все месяцы с отрицательными температурами воздуха. Это хорошо видно при анализе многолетних колебаний стока за самые холодные месяцы года — январь и февраль (рис. 5.21). Из рисунка также следует, что за весь период инструментальных наблюдений такого увеличения стока зимних месяцев, которое наблюдалось в последние десятилетия, не происходило.

На азиатской территории страны значимые тренды увеличения зимнего стока отмечаются на левобережных притоках Иртыша, где его увеличение составляет 40–70%. На 10–30% в последние 20–25 лет сток зимней межени превысил норму в бассейне Лены (реки Витим, Олёкма, Алдан, Амга), а также на реках, расположенных в пределах тундровой и лесотундровой зон Сибири. В бассейне Енисея и на реках Забайкалья увеличение стока холодного периода составило преимущественно 10–20%. Однако на большинстве рек перечисленных выше районов положительные тренды являются незначимыми.

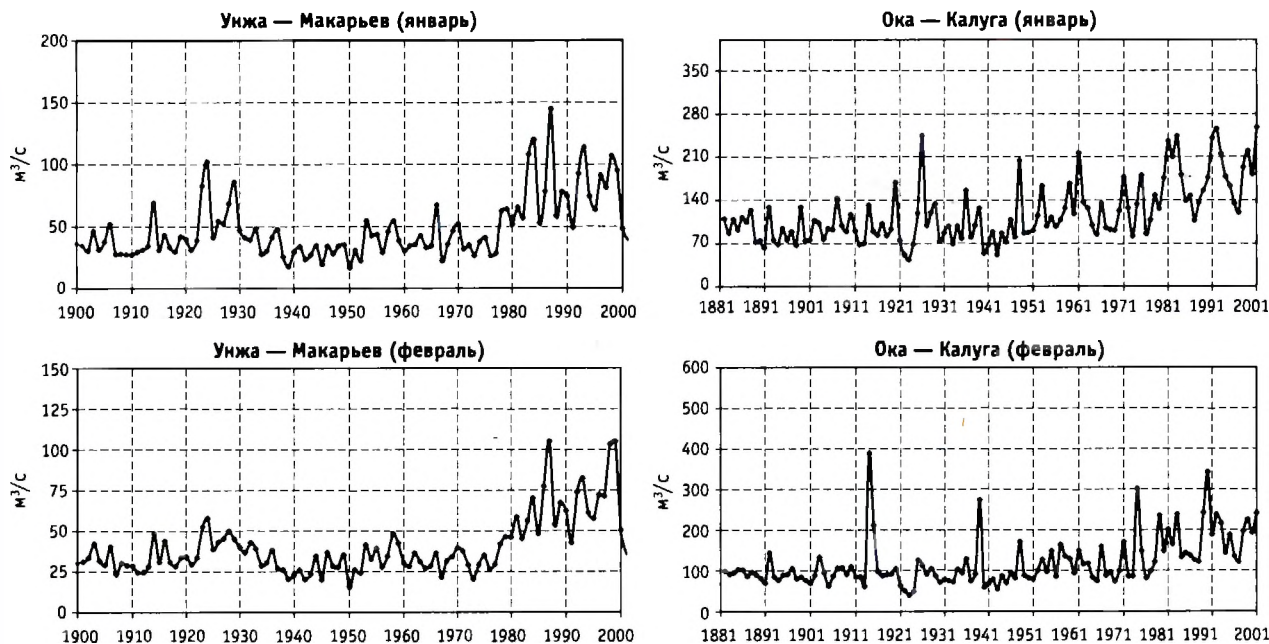


Рис. 5.21. Многолетняя динамика стока зимних месяцев в XX в.

Летне-осенний сток. Так же, как и для зимнего стока, увеличение летне-осеннего стока в 1978–2005 гг. отмечается для преобладающей части ЕТР (см. цв. вкл., рис. 6). Наиболее значительный рост стока летне-осенней межени наблюдался на реках лесостепной и степной зон, где для большинства рек получены значимые положительные тренды. В качестве примера на рис. 5.22 приведен график многолетних колебаний стока за летне-осенний период ряда рек, расположенных в лесостепной, а на рис. 5.23 — в степной зонах ЕТР. В этих природных зонах сток рек за летне-осенние месяцы был выше, чем в предшествующий многолетний период, на 30–80%.

Также существенно вырос летне-осенний сток рек, расположенных в лесной зоне ЕТР южнее 60° с. ш. Здесь увеличение стока на большинстве рек составило 30–50%. Севернее, в верхней части бассейна Северной Двины, это увеличение равно 20–25%.

Для гундровой, лесотундровой и северной части лесной зоны ЕТР каких-либо существенных отклонений летне-осеннего стока не наблюдалось.

Для азиатской территории страны современные изменения летне-осеннего стока не столь однозначны, как для ЕТР (см. цв. вкл., рис. 6). Однако и здесь можно выделить несколько регионов, где летне-осенний сток существенно вырос. Наиболее значи-

тельное увеличение летне-осеннего стока (на 25–50%) произошло на реках, где наблюдалось и значительное повышение зимнего стока — это левобережные притоки Иртыша и Тобола, а также реки бассейна Лены (реки Витим, Олёкма, Амга), где сток увеличился на 10–20%, и реки северо-востока (бассейны рек Оленёк, Яна, Индигирка) — на 15–30%.

Выполненный анализ многолетней динамики зимнего и летне-осеннего стока позволил выявить ряд чрезвычайно важных особенностей его изменений, произошедших со второй половины 1970-х гг. в различных регионах страны. Так, на реках южной части лесной зоны ЕТР, лесостепной и степной зон одним из важнейших последствий уже произошедших изменений сезонного стока рек, имеющим социально-экономические и экологические последствия, является резкое увеличение минимальных расходов воды. Следует подчеркнуть, что выявленные изменения являются значимыми и не имеют аналогов за весь предшествующий многолетний период наблюдений, как по величине изменений, так и по охвату территории. На рис. 5.24, в качестве примера, приведена многолетняя динамика минимального месячного зимнего и летнего стока рек, расположенных в указанных природных зонах. Как следует из этих данных, наблюдаемый минимальный месячный сток как летней, так и зимней межени в последние десятилетия в 3–4 раза

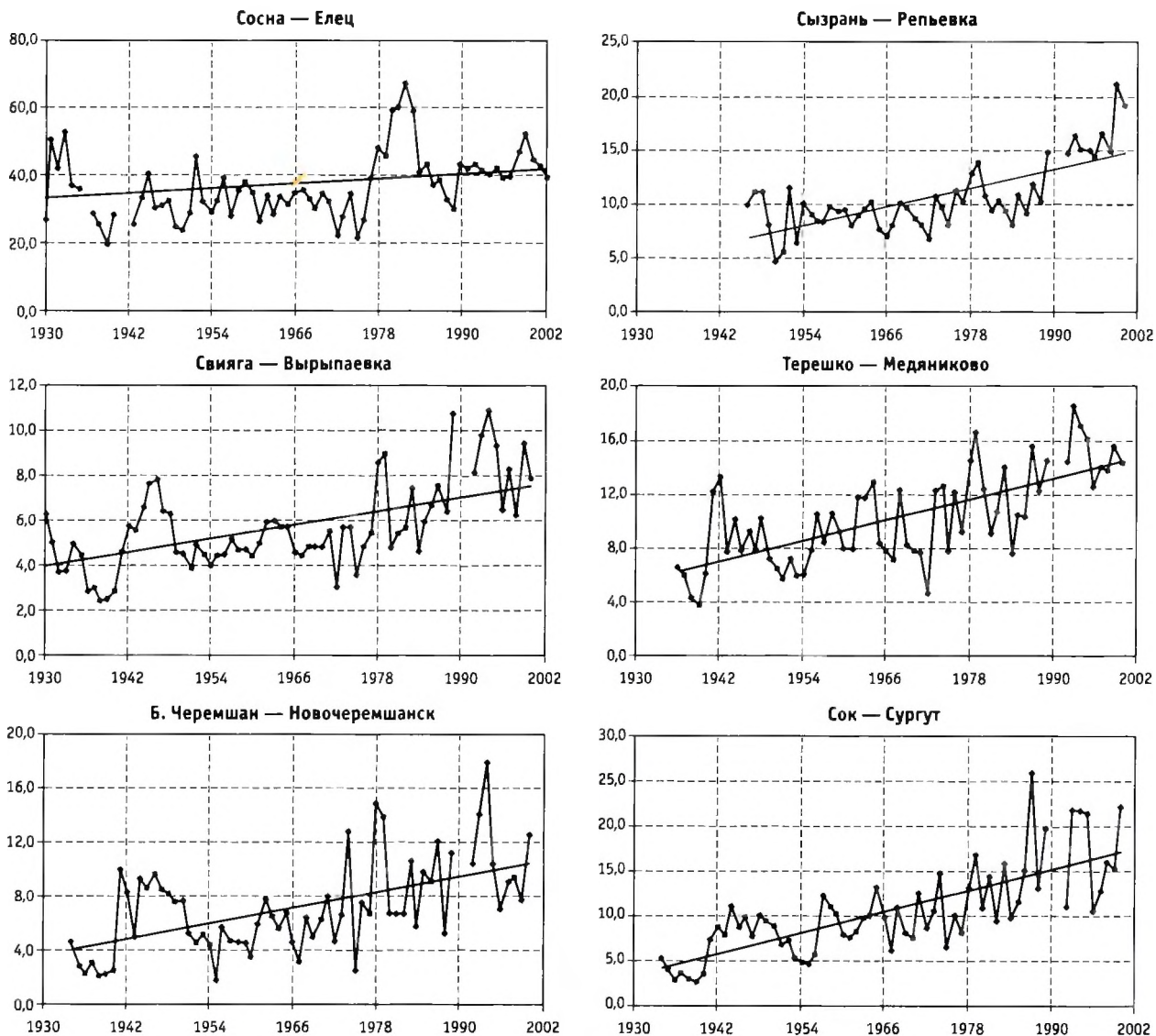


Рис. 5.22. Многолетняя динамика летне-осеннего стока ($\text{м}^3/\text{с}$) рек лесостепной зоны ЕТР

превысил соответствующие величины за предшествующий многолетний период времени. Анализ динамики минимального стока и данных наблюдений на воднобалансовых станциях показал, что такое увеличение стока обусловлено, во-первых, увеличением частоты и продолжительности оттепелей, а также уменьшением промерзаемости почвы, во-вторых — повсеместным, вследствие тех же оттепелей, увеличением питания и повышением уровней подземных вод, дающих базовое меженное питание рек, которое распространяется и на летне-осеннюю межень.

Поскольку минимальный среднемесячный расход воды является основной гидрологической характеристикой, лимитирующей возможность забора воды из рек для обеспечения потребностей различных отраслей экономики и населения, то очевидно, что повышение минимального стока рек в результате произошедших изменений климатических условий является положительным фактором, позволяющим улучшить гарантированное водообеспечение.

Так как наиболее сложная обстановка на реках в результате загрязнений отмечается в период низкого стока с крайне ограниченной разбавляющей

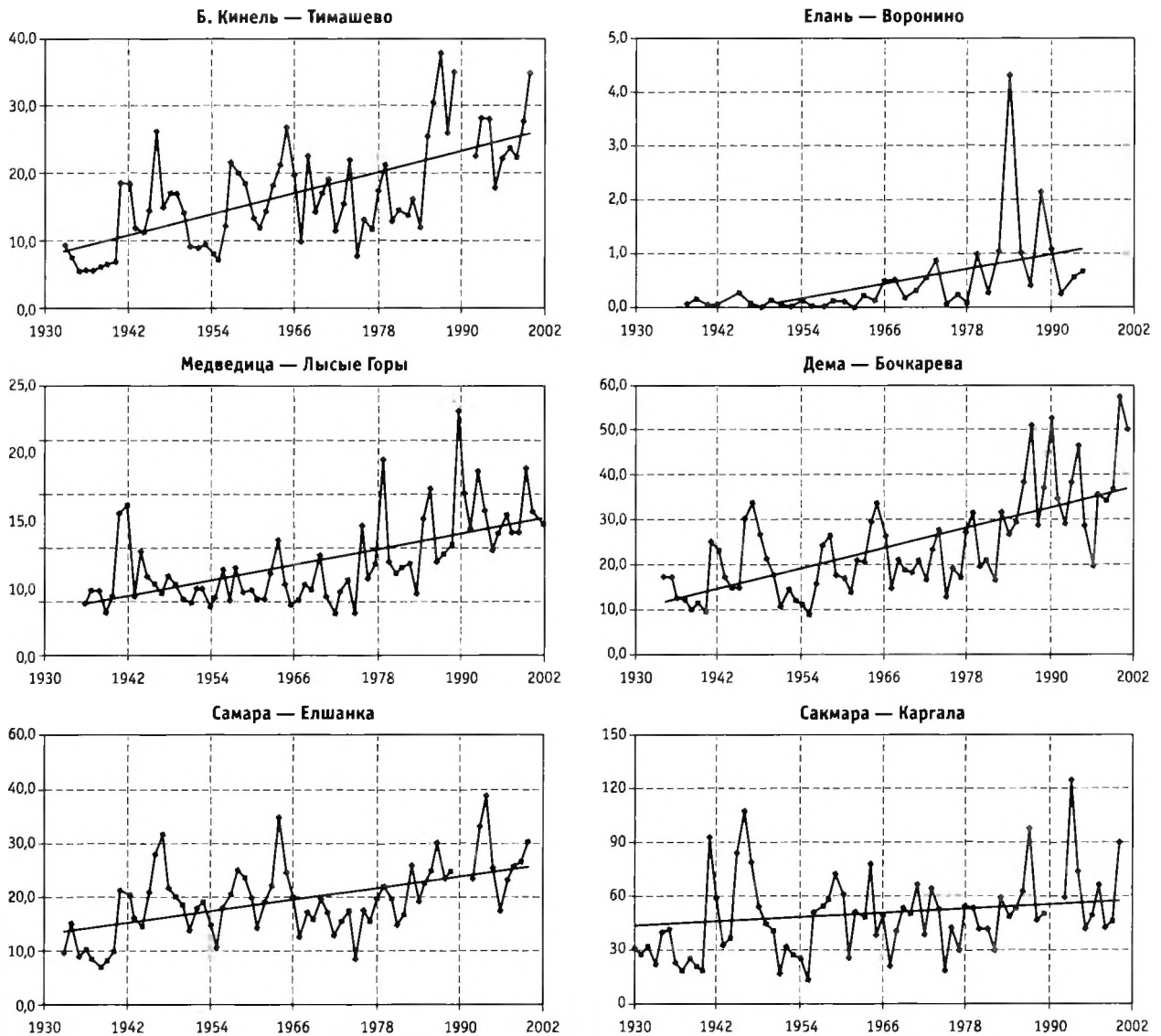


Рис. 5.23. Многолетняя динамика летне-осеннего стока ($\text{м}^3/\text{с}$) рек степной зоны ЕТР

способностью водотоков, то увеличение минимальных расходов воды безусловно способствует оздоровлению гидроэкологических условий.

Следует особо подчеркнуть, что реакция стока на происходящее потепление, в зависимости от конкретных физико-географических особенностей регионов, далеко не однозначна. Так, для рек западной части страны, на общем фоне повышения водности, очень четко прослеживается значительное увеличение вариации стока зимних месяцев (рис. 5.25). Здесь, наряду с очень высоким зимним стоком, формирующимся в период участвовавших длительных оттепе-

лей, в отдельные холодные зимы с устойчивыми отрицательными температурами воздуха сток, в том числе и минимальный, резко снижается, достигая наименьших значений, наблюдавшихся за предшествующий многолетний период. На наш взгляд, это связано в значительной мере с гидрогеологическими особенностями водосборов рек этого региона.

Весенний сток. Анализ карты-схемы аномалий весеннего стока рек России (см. цв. вкл., рис. 7) позволил установить, что для ряда крупных регионов в последние десятилетия отмечается его снижение. Это, во-первых, юго-западная часть ЕТР.

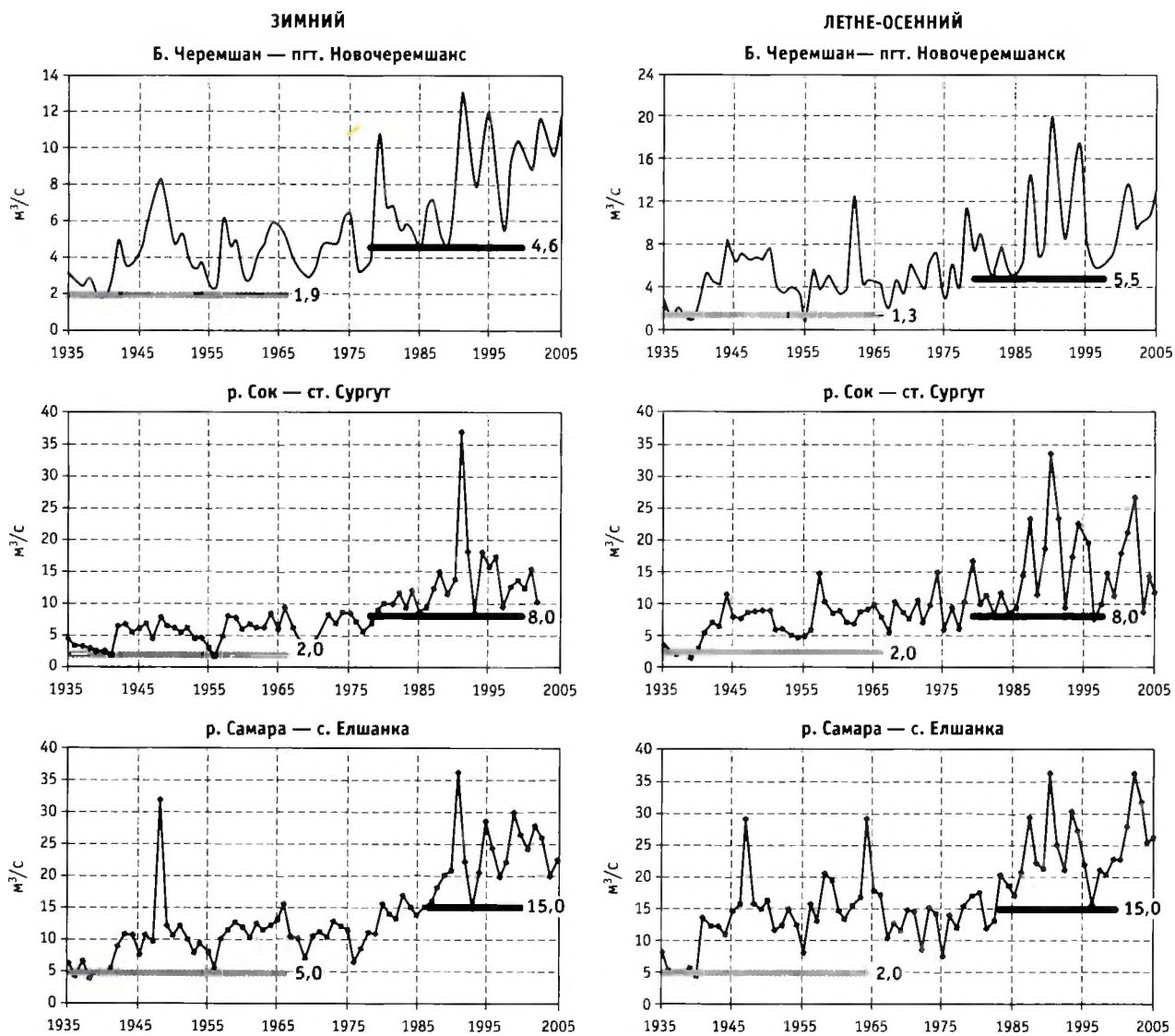


Рис. 5.24. Многолетняя динамика минимального месячного стока рек

Практически на всех реках бассейна Дона и российской части бассейна Днепра сток весеннего половодья на 10–30% был ниже, чем в предшествующий многолетний период. Сюда же примыкают и верховья Волги, бассейны Оки и Суры, где уменьшение весеннего стока составляет 10–20%.

На азиатской части страны снижение стока весеннего половодья на 10–25% в последние два десятилетия произошло в бассейне Верхней Оби и на 5–15% — на реках Забайкалья.

Увеличение весеннего стока на 15–25% произошло в северной части бассейна Волги (Унжа,

Ветлуга и др.) и на 5–15% — в бассейне Камы. В азиатской части страны объем весеннего половодья увеличился на 15–25% на притоках Тобола и Иртыша и на 10–20% — на ряде притоков Лены (реки Витим, Олёкма, Амга), а также в бассейнах рек Оленёк и Колыма. Сезонные изменения стока рек в конечном итоге определяют и изменения годового стока рек. В результате выполненных исследований были выделены регионы, где в последние 25–30 лет происходит существенное увеличение водных ресурсов (см. цв. вкл., рис. 8). Как следует из данных, представленных на этом рисунке, фаза повышенной

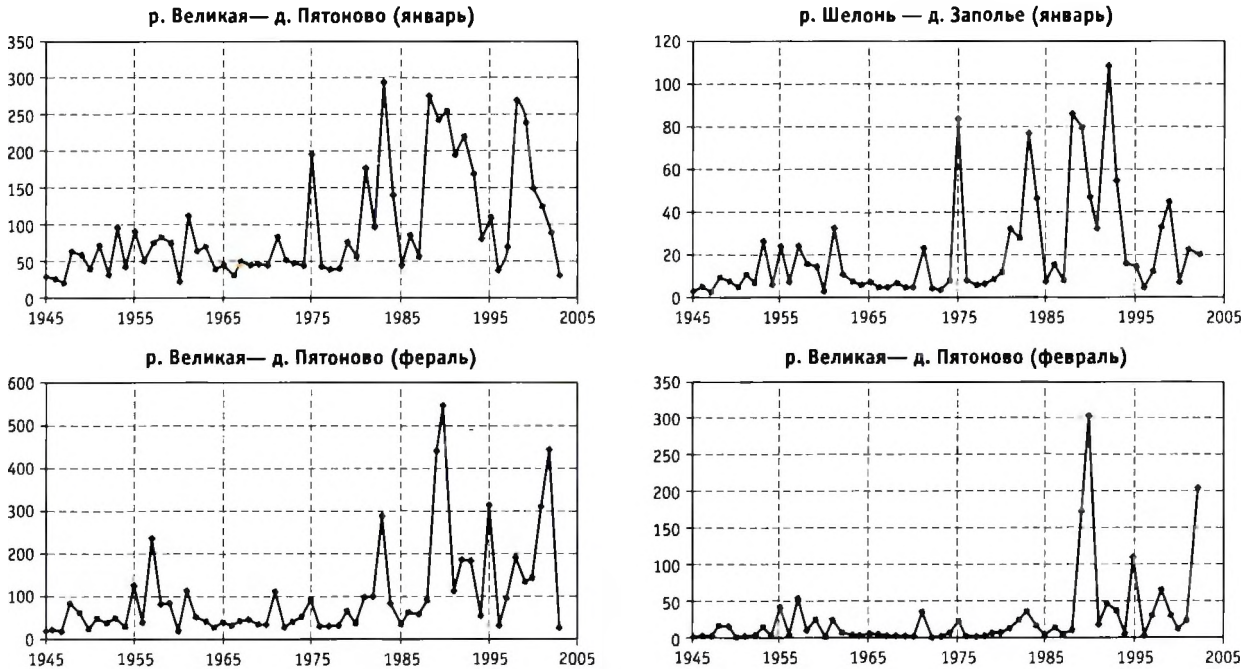


Рис. 5.25. Многолетняя динамика зимнего стока рек запада ЕТР ($\text{м}^3/\text{с}$)

водности отмечается на преобладающей части ЕТР. Наиболее значительное увеличение годового стока (на 15–40%) наблюдалось на реках, расположенных в пределах примерно между 56° и 60° с. ш. (реки западной части ЕТР, левобережные притоки Волги в ее верхнем и среднем течении, большая часть бассейна Камы). Также значительно увеличился сток притоков Волги, расположенных в лесостепной зоне. К северу и югу от этой полосы также отмечается увеличение водности, но менее значительное. На 10–15% средний годовой сток за 1978–2005 гг. был выше среднего многолетнего в верхней части бассейна Северной Двины, в верховьях Днепра, на левобережных притоках Дона. На остальной части ЕТР современные изменения стока были незначительными.

На азиатской территории страны очень значительное увеличение водности в 1978–2005 гг. (на 20–40%) отмечается на реках, сток которых формируется на восточном склоне Уральских гор в пределах от 56° до 60° с. ш. (левые притоки Тобола и Иртыша). Повышение водности наблюдалось также и на значительной части бассейна Лены, особенно в последнее десятилетие XX в. Так, за 1991–2000 гг. годовой сток в бассейне р. Вилюй на 25–30% превысил норму. На 10–20% увеличился сток в бассейнах Витима, Олёкмы и Амги, а также в верхней

части бассейна Алдана. На 5–15% увеличился годовой сток в бассейнах рек северо-востока азиатской части страны (бассейны рек Анабар, Оленёк, Яна, Индигирка).

На фоне происходящего с конца 1970-х гг. потепления климата на рассматриваемой территории выделяется только один регион, где в последние два десятилетия наблюдалось существенное снижение годового стока рек — это бассейн верхней Оби. Годовой сток Оби у г. Колпашево в 1978–2005 гг. был на 18% меньше нормы. Водность притоков Оби выше г. Колпашево уменьшилась в этот период на 5–22%. Незначительное уменьшение стока в пределах 5% произошло в этот период и в бассейне Верхнего Енисея. Вместе с тем результаты оценок однородности рядов годового стока рек, оценок значимости их трендов за различные периоды времени не дают оснований говорить о наличии направленных изменений в многолетних колебаниях возобновляемых водных ресурсов. Хотя на фоне наблюдающегося со второй половины 1970-х гг. потепления на большей части страны произошло увеличение водности, а в отдельных крупных регионах — весьма значительное, вместе с тем все эти изменения пока не противоречат гипотезе стационарности временных изменений рядов годового стока.

Обобщая приведенные результаты анализа многолетних колебаний годового и сезонного стока рек России, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Основной особенностью современных изменений водного режима рек на преобладающей части территории страны является существенное увеличение в последние 20–25 лет водности в меженные периоды, особенно в зимние месяцы. В пределах крупных регионов России для большинства рассмотренных рек отмечаются значимые (при уровне значимости 95%) положительные тренды увеличения стока зимней и летне-осенней межени. Наблюдающаяся для обширных территорий «синхронизация» изменений меженного стока (особенно зимнего) и масштабы этих изменений являются неординарными и не имеют аналогов в XX столетии. Рост меженного стока обусловил в 1980–1990-х гг. увеличение водных ресурсов даже в бассейнах рек, где произошло снижение стока весеннего половодья. Анализ данных наблюдений за последние сто лет позволил прийти к выводу о том, что такая ситуация сложилась впервые, так как ранее все значительные маловодные и многоводные фазы определялись, прежде всего, величиной стока весеннего половодья. Установлено, что реакция меженного стока на климатические изменения в зависимости от физико-географических условий и конкретных особенностей водосборов может существенно отличаться.

2. Для рек юго-западного региона ЕТР и прилегающей к нему части бассейна Волги в 1980–1990-х гг. происходили изменения в генезисе их питания, обусловленные уменьшением весеннего стока и увеличением меженного. Если до второй половины 1970-х гг., в соответствии с классификацией М. И. Львовича (Львович, 1938), реки указанных выше районов по источникам питания и внутригодовому распределению стока относились к категории рек «преимущественно снегового» питания, то в конце XX в. произошел переход их к категории рек со «смешанным питанием» или даже «смешанным с преобладанием грунтового» (табл. 5.18). Это привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока, по своему масштабу сопоставимому с влиянием водохранилищ сезонного регулирования. Этот эффект хорошо иллюстрируется приведенными на рис. 5.26 данными по суммарному притоку речных вод в Цимлянское водохранилище за различные многолетние периоды времени.

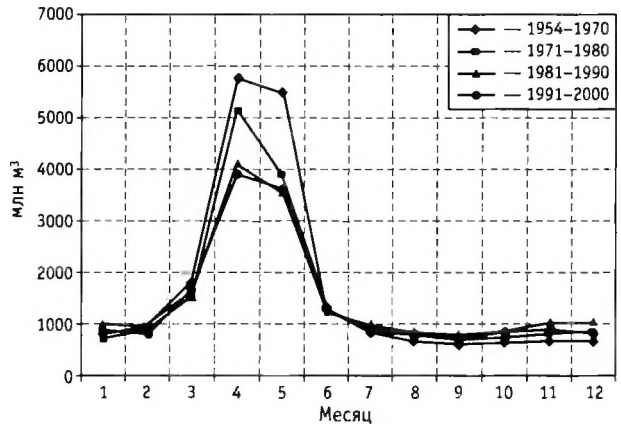


Рис. 5.26. Приток к Цимлянскому водохранилищу

3. В результате произошедших изменений сезонного стока на преобладающей части территории страны годовой сток рек в последние десятилетия превысил норму. Вместе с тем выявленные для отдельных крупных регионов существенные положительные аномалии годового стока рек пока не дают основания делать вывод о направленных систематических изменениях в многолетних колебаниях их водных ресурсов. Результаты статистических расчетов свидетельствуют о том, что пока происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости. Так, например, результаты расчетов линейных трендов как за весь период наблюдений, так и за единый для всех 300 рассмотренных рядов годового стока (1946–2005 гг.), показали, что значимые оценки трендов получены меньше чем для 5% гидрометрических створов.

Таблица 5.18

Распределение стока рек в (% от годового) за нелимитирующий (весна) и лимитирующий (межень) периоды

Река–пункт	Природная зона	Нелимитирующий период		Лимитирующий период	
		до 1978 г.	1978–2005 гг.	до 1978 г.	1978–2005 гг.
Волга — Старица	Лесная	48	33	52	67
Ока — Калуга	Лесная	66	52	34	48
Сосна — Елец	Лесостепная	60	43	40	57
Девица — Девица	Лесостепная	57	40	43	60
Хопер — Пановка	Лесостепная	71	59	29	41
Медведица — Лысье Горы	Степная	70	53	30	47

5.7.2.3. Причины современных изменений внутригодового распределения стока

Как было показано в предыдущем разделе, со второй половины 1970-х гг. на значительной части территории страны происходят существенные изменения во внутригодовом распределении стока рек, основной характерной особенностью которых является увеличение водности в меженные месяцы. Наиболее значительные и четко выраженные изменения выявлены на ЕТР. Аналогичные изменения отмечаются также на реках Украины, Беларуси и Балтии (Гольберг и др., 2002; Вишневецкий, Косовец, 2004; Шерешевский, Синицкая, 2004; Nekrasova, 2004; Hisdal et al., 2004). Таким образом, можно говорить об идентичности изменений водного режима рек обширной зоны Восточно-Европейской (Русской) равнины.

Для выявления причин современных изменений водного режима рек Восточно-Европейской равнины и детального анализа особенностей процессов гидрологического цикла нами были использованы данные семи воднобалансовых станций (ВБС):

- Прибалтийская ВБС (бассейн Балтийского моря, западная часть лесной зоны);
- Валдайский филиал ГГИ (бассейн Балтийского моря, центральная часть лесной зоны);
- Подмосковная ВБС (бассейн Волги, южная часть лесной зоны);
- Придеснянская ВБС (бассейн Днепра, граница лесной и лесостепной зон);
- Нижнедевицкая ВБС (бассейн Дона, лесостепная зона);
- Обсерватория «Каменная степь» (бассейн Дона, граница лесостепной и степной зон);
- Дубовская ВБС (бассейн Дона, степная зона).

На воднобалансовых станциях с конца 1940-х — середины 1950-х гг. ведутся наблюдения за основными элементами гидрологического цикла. Был выполнен анализ многолетних изменений стока рек, температуры воздуха, осадков, снегозапасов, запасов влаги в метровом слое почвы, уровней подземных вод и промерзаемости почвы. Для рядов температуры воздуха и осадков использовалась декадная информация, для остальных — среднемесячная.

Для анализа изменений стока использовались данные наблюдений ВБС на водотоках различных размеров (реки, ручьи, лога) с различной степенью дренирования подземных вод, а также на средних реках, находящихся в близких физико-географических и климатических условиях.

К сожалению, материалы гидрометеорологических наблюдений на ВБС после 1990 г. не публикуются, поэтому преимущественно использовались данные по 1990 г. включительно.

В результате анализа динамики элементов гидрологического цикла на рассматриваемых воднобалансовых станциях был получен ряд выводов (Георгисвский и др., 1996; Шикломанов, Георгиевский, 2002; Georgievsky, 1998; Georgievsky et al., 1998 a, b). Прежде всего следует отметить, что по всем ВБС со второй половины 1970-х гг. отмечается значительное увеличение годовых сумм осадков — на 34–77 мм, или 5–15%. При этом осадки за летне-осенний период увеличились на 19–55 мм, а за зимний период — на 3–24 мм. В весенний период на Придеснянской и Дубовской ВБС осадки увеличились соответственно на 8 и 14 мм, а на остальных станциях они снизились или практически не изменились. Увеличение увлажненности происходило на фоне существенного потепления зимнего и весеннего сезонов (до 1,0–1,2 °С). В то же время температура воздуха летне-осеннего периода понизилась на 0,1–0,3 °С. В результате повышения температуры воздуха холодного периода участились зимние оттепели, а промерзаемость почв стала меньше. Так, например, если по данным наблюдений на логу Барском (Нижнедевицкая ВБС) до 1978 г. средняя глубина промерзаемости почвогрунтов составляла 70 см, то в 1978–1990 гг. эта величина уменьшилась на 37 см. Это явилось причиной того, что значительная часть сформировавшегося во время оттепелей и весеннего снеготаяния талого стока пошла на увеличение влажности деятельного слоя почв и пополнение подземных вод. В результате влажность метрового слоя почвы в зимний период возросла, при этом наиболее существенно — на Прибалтийской и Подмосковной ВБС (соответственно на 60 и 30 мм). Для всей рассматриваемой территории отмечается также и повышение влагозапасов почво-грунтов летне-осеннего периода, что явилось следствием увеличения увлажненности теплого сезона.

В сложившейся со второй половины 1970-х гг. гидрометеорологической ситуации были созданы благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод и увеличения их запасов в различных подземных горизонтах (глубина залегания подземных вод по данным рассматриваемых ВБС составляет от 4 до 35 м от поверхности земли), в результате чего четко обозначилась тенденция к повышению уровня подземных вод. Это повышение

к началу 1990-х гг. достигло 50–130 см. Средний годовой уровень подземных вод в 1978–1990-х гг. находился на 15–85 см выше, чем за предшествующий период наблюдений. Увеличение запасов подземных вод привело, в свою очередь, к возрастанию подземного питания рек и значительному росту их меженного стока. Увеличение меженного стока, по данным ВБС, достигает 50–60%. Вывод о том, что основной причиной возрастания подземного питания рек и роста меженного стока является увеличение запасов подземных вод, хорошо подтверждается анализом зависимостей летне-осеннего и зимнего стока рек от среднего за сезон уровня подземных вод.

Следует особо подчеркнуть, что эти выводы относятся к стоку рек, дренирующих основные водоносные горизонты. Что касается расположенных в лесостепной и степной зонах ЕТР временных водотоков, а также малых рек, которые не дренируют основные водоносные горизонты, то, несмотря на повышенную увлажненность, может происходить снижение их стока во все сезоны года. Наверное, первым на это необычное гидрологическое явление — увеличение стока средних рек и снижение стока малых водотоков при одинаковом климатическом воздействии — обратил внимание С. А. Журавин при анализе данных наблюдений на Нижнедевицкой ВБС (Zhuravin, 1993; 2002). Это хорошо иллюстрируется и данными по Дубовской ВБС, расположенной в степной зоне. Для этой природной зоны характерно наличие временных водотоков с отсутствием постоянного подземного питания, сток по которым отмечается, главным образом, только во время снеготаяния в период весеннего половодья или зимних оттепелей. Несмотря на то что осадки со второй половины 1970-х гг. увеличились по сравнению с предшествующим многолетним периодом на 77 мм, отмечается снижение стока в результате того, что избыточная влага попадает через зону

аэрации в подземные горизонты, дренируемые более крупными реками. Аналогичная картина очень четко прослеживается и для лесостепной зоны. Так, по данным наблюдений Нижнедевицкой ВБС, годовой сток логов Барского и Долгого, а также руч. Ясенюк в 1978–1990 гг. снизился соответственно на 18, 24 и 8% , в то время как сток р. Девица, в бассейне которой расположены вышеуказанные водотоки, увеличился на 5%.

Хотя, как это уже отмечалось выше, выводы об особенностях формирования стока и причинах его изменений под влиянием климатических факторов получены на основе анализа данных наблюдений на ВБС преимущественно по 1990 г. включительно, на наш взгляд, они могут быть распространены и на последующие годы. Для обоснования этого предположения на рис. 5.27 приведены данные по внутригодовому распределению стока р. Девица, в бассейне которой расположена Нижнедевицкая ВБС, а также р. Сосна, водной режим которой типичен для лесостепной зоны. Как следует из этих данных, внутригодовое распределение стока рек за 1978–2005 гг. практически полностью идентично его распределению в 1978–1990 гг.

Вместе с тем одной из первоочередных задач, решение которой может существенно продвинуть наши представления о происходящих региональных изменениях климата и их влиянии на гидрологический цикл, является «реанимация» работы ВБС и комплексный анализ всех данных, включая наблюдения за последние годы.

5.7.2.4. Влияние глобального потепления на сток европейских рек

Полученные к настоящему времени оценки динамики годового и сезонного стока рек, расположенных в умеренной климатической зоне Европы, на фоне происходящих изменений климата,

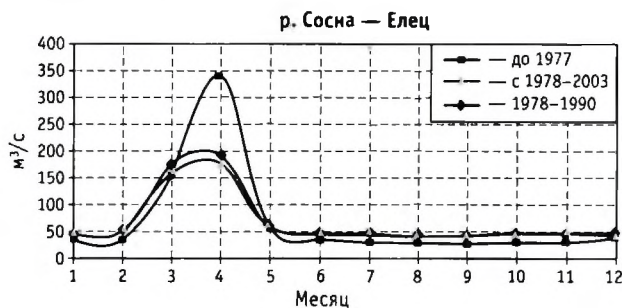
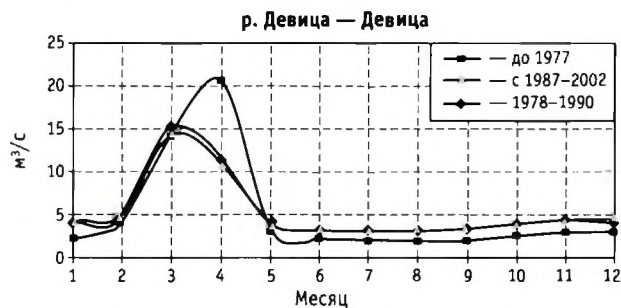


Рис. 5.27. Внутригодовое распределение стока рек Девица и Сосна за различные многолетние периоды времени

а также приведенные в настоящей главе применительно к европейской территории России, позволяют сделать следующий вывод: увеличение межженного, прежде всего зимнего, стока рек является наиболее выраженной реакцией водосборов на потепление последних десятилетий. Так, повсеместное увеличение межженного стока в последние 20–25 лет выявлено на реках Украины (Вишневский, Косолец, 2004; Шерешевский, Синицкая, 2004). В соответствии с (Nekrasova, 2004), на всех основных реках Беларуси (Западная Двина, Неман, Велия, Днепр, Припять) в 1988–2002 гг. очень существенно повысилась водность зимних месяцев, также на большинстве рек возрос и летний сток. Выполненный в (Hisdal et al., 2004) расчет и анализ трендов годового и сезонного стока по 116 рекам Дании, Норвегии, Швеции и Финляндии за период 1941–2002 гг. свидетельствует о преобладании положительных трендов в динамике зимнего стока. В исследовании (Schumann, 1993) на основании анализа многолетних данных по стоку рек, в том числе продолжительностью более 150 лет, расположенных в различных районах Германии, показано существенное увеличение со второй половины 1960-х гг. зимнего стока альпийских рек в результате потепления холодного периода. Вывод о значительном повышении зимнего стока рек сохранился и в работах, в которых анализировалась динамика притока речных вод в Балтийское море (Bergstrom, Carlsson, 1993; Tärend, 1998). Аналогичные выводы были получены в Великобритании путем анализа изменений режима речного стока за 20-летний период с наибольшей годовой температурой воздуха (Polutikov, 1987). Для всех десяти выбранных для анализа водосборов годовой сток изменился незначительно, однако произошли очень большие изменения в его внутригодовом распределении. Так, в северной Англии месячный сток уменьшился до 50% летом и увеличился до 60% зимой, при этом изменения годового стока находились в пределах $\pm 5\%$.

Интересные исследования по определению чувствительности гидрологического режима к небольшим колебаниям годовой температуры воздуха — в пределах $\pm 1^\circ\text{C}$ — были выполнены для 49 речных бассейнов различных районов Скандинавии (Krasovskaya, 1995; 1996). Наибольшая чувствительность речного стока к колебаниям температуры воздуха проявляется в бассейнах рек с относительно мягкой зимой и минимальным стоком в летний период. Особенно существенное влияние колебаний тем-

пературы на сток проявляется в теплые годы, когда увеличивается зимний сток.

В. А. Семенов в результате статистического анализа длительных рядов гидрологических наблюдений пришел к выводу, что преобладание положительных аномалий межженного стока является ведущей тенденцией (наряду с увеличением годового стока) в изменениях водного режима рек в целом для равнинной территории Северной Евразии (Семенов, 2004; Семенов, Алексеева, 1989; Семенов и др., 1994).

Полученные к настоящему времени для отдельных регионов Европы выводы об увеличении зимнего стока рек совпадают.

Таким образом, анализ имеющихся результатов региональных исследований современных изменений водного режима рек подтверждает вывод о существенном росте зимнего стока на значительной части Европы в результате повышения температуры воздуха холодного периода года.

5.7.3. Внутригодовое распределение стока основных рек страны

В предыдущих разделах в результате анализа многолетней динамики сезонного и месячного стока средних рек с естественным гидрологическим режимом были установлены основные особенности климатообусловленных изменений их водного режима, произошедшие в последние десятилетия. В настоящем разделе приводятся данные по внутригодовому распределению стока основных рек страны и его современным изменениям.

К основным рекам страны отнесем, в первую очередь, крупнейшие реки — такие как Волга, Обь, Енисей, Лена, Амур, а также крупнейшие их притоки — Каму и Ангара. Сток этих рек формируется в пределах нескольких природно-климатических зон, и его многолетние колебания определяются динамикой климатических процессов, происходящих в пределах очень больших территорий. При этом в различных частях этих территорий изменения различных климатических параметров, например, осадков, могут носить разнонаправленный характер.

К основным отнесем и большие реки, впадающие непосредственно в моря — Северная Двина, Онега, Мезень, Печора, Нева, Дон, Кубань, Терек, Оленёк, Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, Камчатка, а также российские части больших трансграничных рек — Днепр, Западная Двина и Неман.

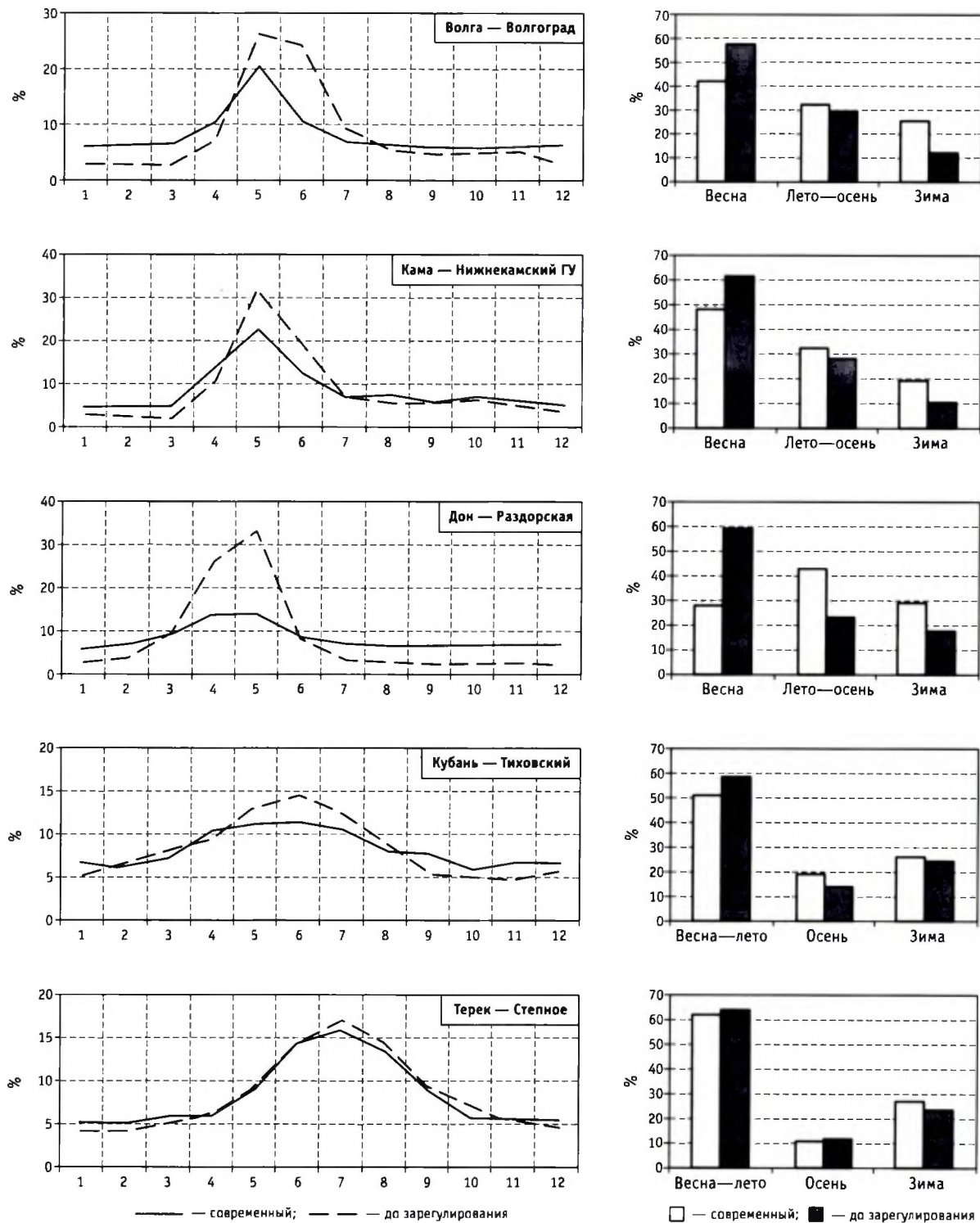


Рис. 5.28. Гидрографы и сезонное распределение стока (% от годового) основных рек ЕТР до и после их зарегулирования водохранилищами

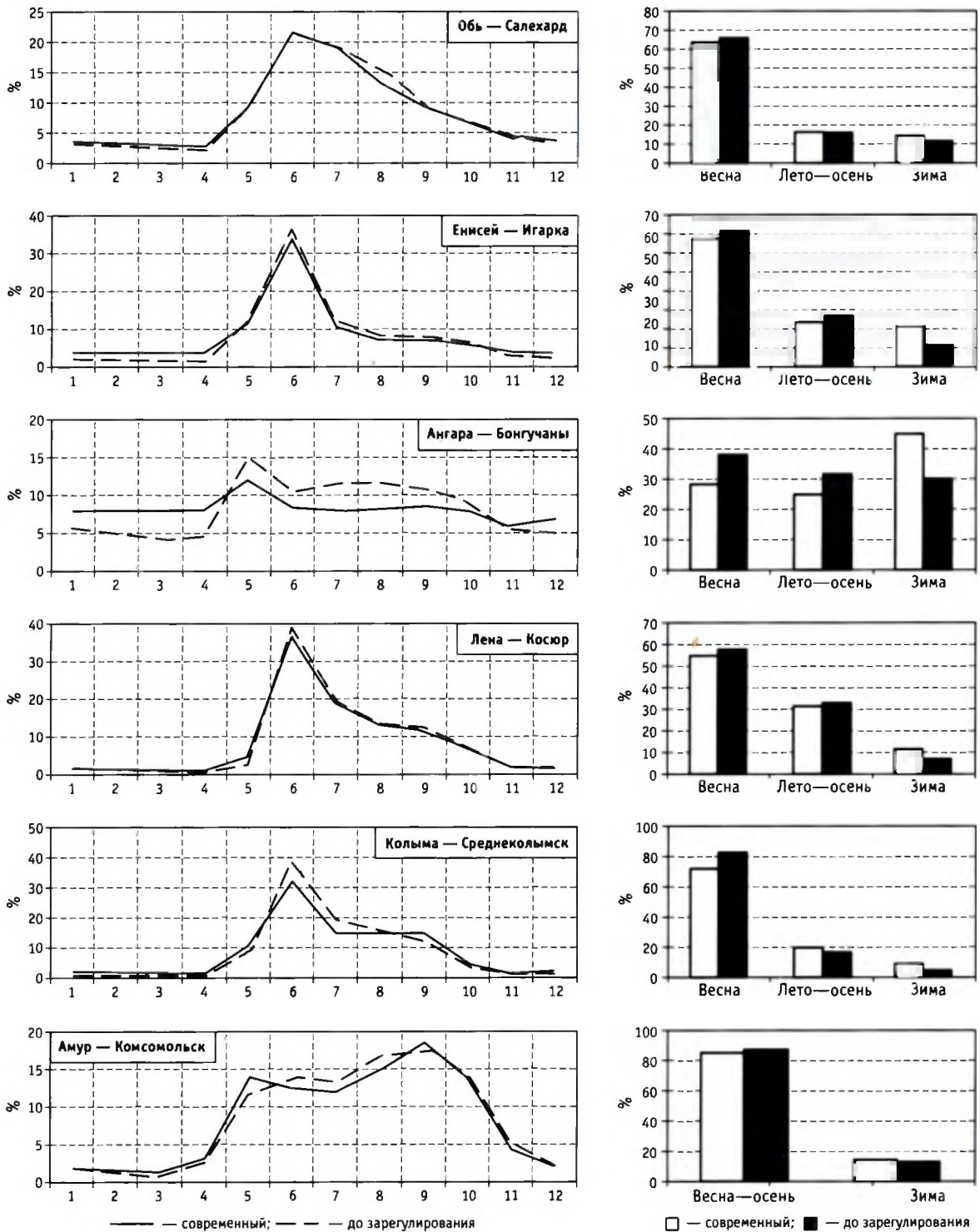


Рис. 5.29. Гидрографы и сезонное распределение стока (% от годового) основных рек АТР до и после их зарегулирования водохранилищами

На водный режим большинства основных рек страны существенное влияние оказывает также хозяйственная деятельность человека, в особенности мероприятия по искусственному регулированию стока. С учетом изложенного, анализ внутригодового распределения стока основных рек страны и его изменений производился следующим образом.

Для рек, в бассейнах которых функционируют водохранилища многолетнего или сезонного регулирования, оказывающие влияние на сезонный и месячный сток в замыкающих створах, выполнялась сравнительная оценка внутригодового распределения стока за следующие два периода:

— ненарушенный период — от начала гидрометрических наблюдений до момента создания первого водохранилища (но не позднее 1977 г.);

— современный период — с 1978 г. (или, если позднее, с момента создания последнего водохранилища) до 2005 г.

Для рек, не имеющих искусственного регулирования, внутригодовое распределение стока сравнивалось за следующие два периода:

— ненарушенный период — от начала гидрометрических наблюдений по 1977 г. включительно;

— современный период — с 1978 до 2005 г.

В табл. 5.19 приведены величины изменения месячного стока рассматриваемых рек за современный период в процентах относительно ненарушенного периода.

На рис. 5.28 и 5.29 приведены гидрографы стока рек европейской и азиатской частей России, зарегулированных водохранилищами, за рассматриваемые периоды времени, а также диаграммы, дающие представление о сезонном стоке этих рек и его изменениях.

Влияние водохранилищ и происходящих климатических изменений в совокупности приводит, в основном, к выравниванию внутригодового распределения стока — снижению стока многоводной фазы и увеличению стока межени, главным образом, зимней. Степень воздействия на распределение стока внутри года при этом зависит, во-первых, от соотношения объема водохранилищ и объема стока, во-

Таблица 5.19

Изменения месячного стока рассматриваемых рек за современный период относительно ненарушенного периода, %

	Река	Пост	Месяц											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Реки с водохранилищами	Волга	Волгоград	112	127	128	48	-18	-55	-20	18	30	20	28	108
	Кама	Нижне-Камский ГУ	85	133	165	37	-22	-23	9	48	29	25	35	69
	Дон	Раздорская	87	57	-9	-53	-62	-11	71	108	145	142	119	153
	Кубань	Тиховский	29	-4	-13	8	-15	-22	-17	-8	39	23	41	17
	Терек	Степное	20	15	14	-6	-8	-4	-8	-9	-7	-17	-3	11
	Обь	Салехард	22	28	34	38	6	6	4	-11	0	2	16	22
	Енисей	Игарка	69	89	106	128	-5	-3	-11	-16	-12	-8	41	58
	Ангара	Богучаны	45	61	78	73	-22	-23	-31	-30	-23	-13	6	35
	Лена	Кюсюр	36	57	79	85	109	0	2	3	-2	3	17	30
	Колыма	Среднеколымск	280	420	520	574	18	-23	-31	-12	7	16	25	126
Реки без искусственного регулирования	Амур	Комсомольск-на-Амуре	11	45	55	15	8	-16	-18	-18	-4	-11	-25	-6
	Онега	Порог	31	17	19	26	-8	-20	-3	6	7	10	15	32
	Северная Двина	Усть-Пинега	10	10	15	32	6	-17	3	-7	-9	-14	-12	0
	Мезень	Малонисогорская	-2	-5	-1	6	11	-23	-9	-12	-9	-19	-21	-6
	Печора	Усть-Цильма	9	12	19	29	20	-3	2	16	14	-7	-10	6
	Западная Двина	Витебск	54	29	-6	-2	-13	-17	-14	-16	4	22	16	11
	Неман	Гродно	22	0	0	-6	16	23	23	-1	9	21	-2	9
	Днепр	Смоленск	103	65	-12	-11	-7	15	23	57	53	30	22	35
	Нева	Новосаратовка	-9	-4	6	13	2	0	-1	-1	-1	-1	0	-10
	Оленёк	Сухана	21	32	26	17	10	13	3	20	26	44	33	28
	Яна	Верхоянск	131	209	480	545	34	4	9	6	33	35	30	68
	Индиگیرка	Воронцово	-12	5	34	48	-31	5	-4	9	40	14	-9	-4
	Анадырь	Снежное	18	27	29	25	4	-6	9	26	7	14	-18	3
Камчатка	Ключи	13	11	9	7	12	2	-3	-1	5	15	20	13	

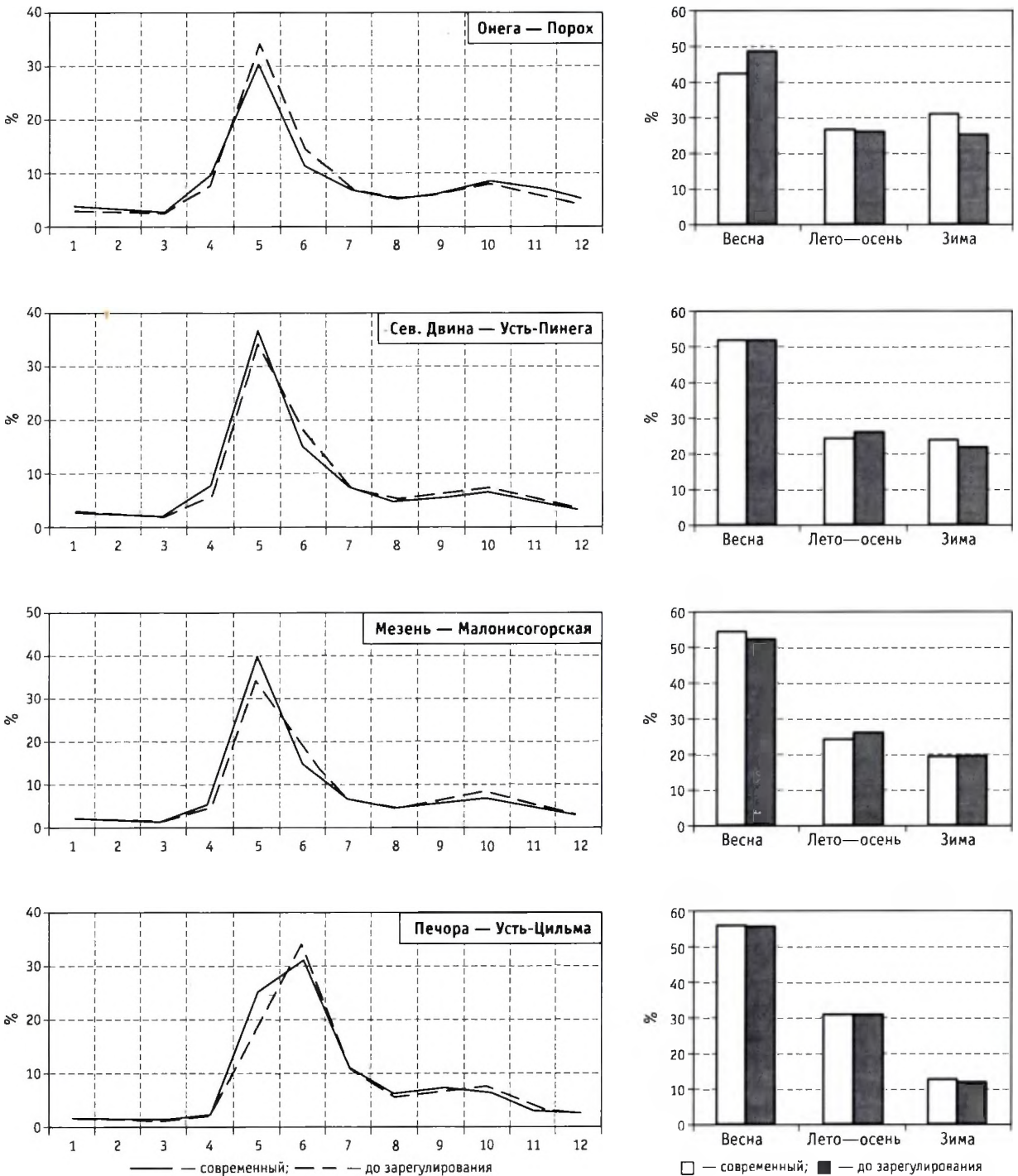


Рис. 5.30. Гидрографы и сезонное распределение стока (% от годового) основных рек севера ЕТР, не имеющих искусственного регулирования

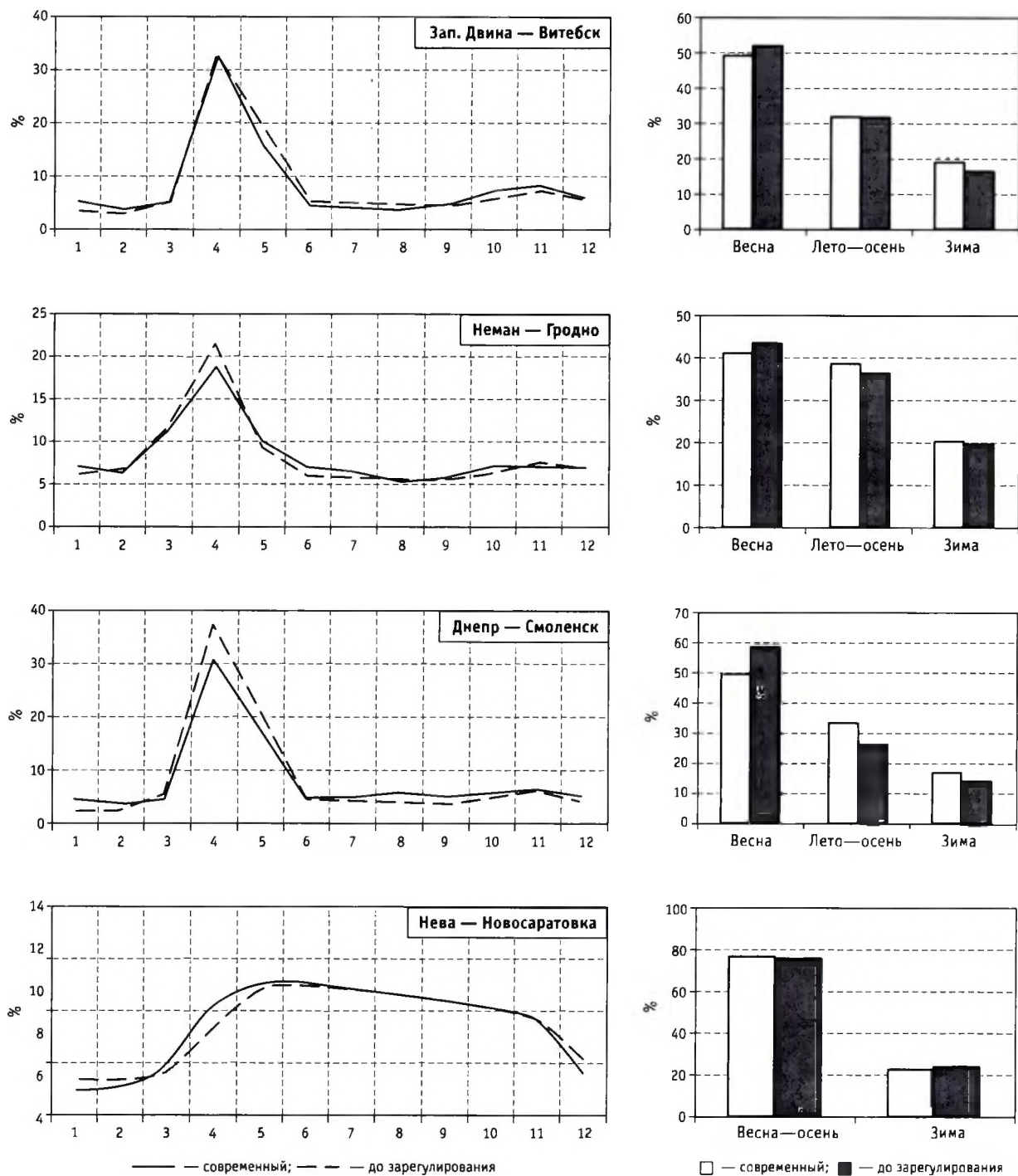


Рис. 5.31. Гидрографы и сезонное распределение стока (% от годового) основных рек северо-запада и запада ЕТР, не имеющих искусственного регулирования

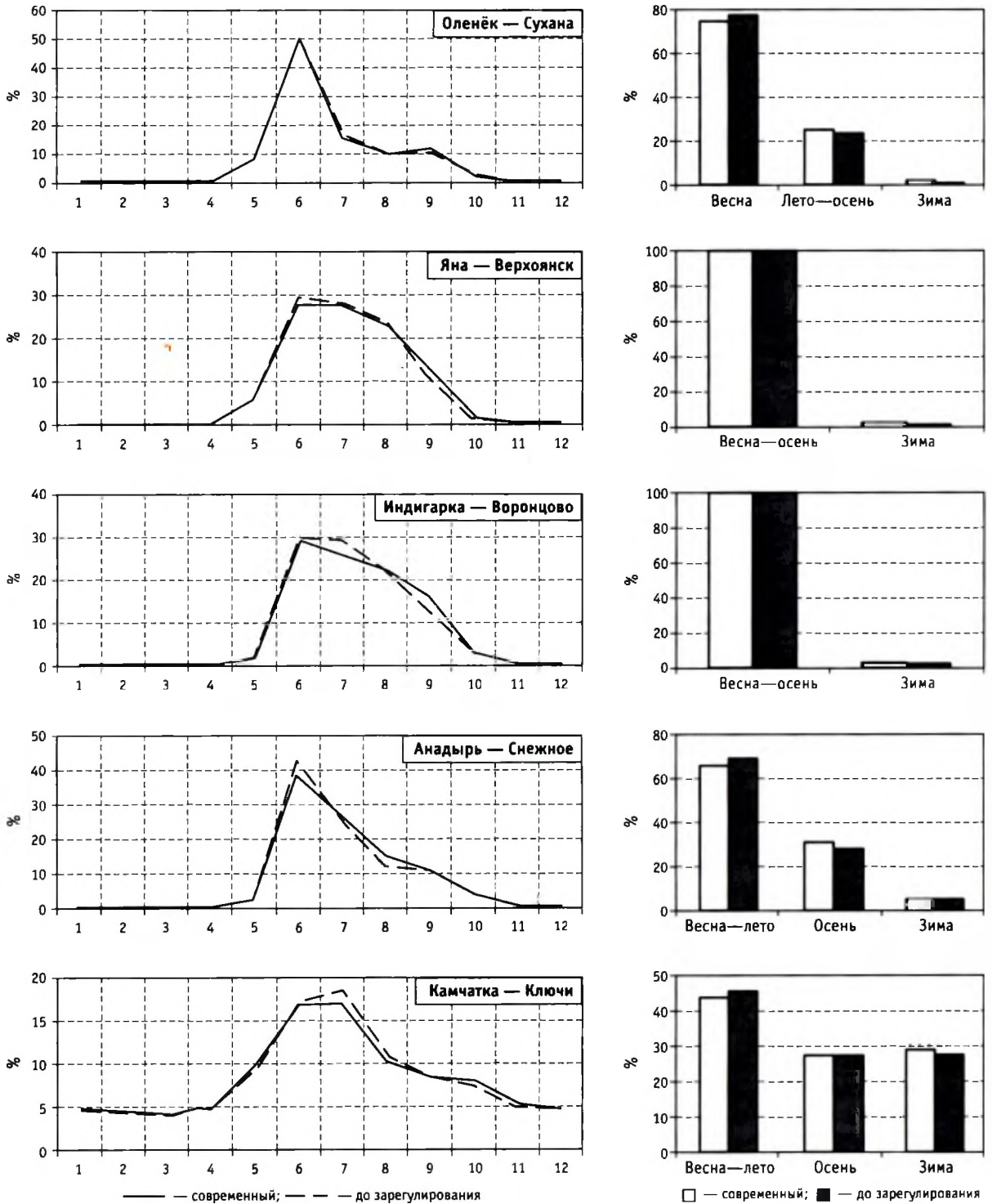


Рис. 5.32. Гидрографы и сезонное распределение стока (% от годового) основных рек АТР, не имеющих искусственного регулирования

вторых — от географического положения бассейна, определяющего как естественный режим стока, так и его климатообусловленные изменения.

Анализ данных, приведенных в табл. 5.19 и на рис. 5.28 и 5.29, показывает, что зимний сток увеличился на всех рассматриваемых реках, в большей степени — на реках европейской части страны, а также на Енисее и Ангаре, где и расположено большинство крупнейших водохранилищ страны. Наибольшее относительное увеличение зимнего стока наблюдается на р. Колыма (в марте и апреле более чем в пять раз), однако, ввиду крайней маловодности зимнего периода, его доля в годовом стоке не превышает 10%.

Сток многоводного периода (весеннее или весенне-летнее половодье) повсеместно уменьшился, в наибольшей степени — на Волге, Каме и Дону. Знак и величина изменения водности летне-осенней межени на разных реках различны.

На р. Ангара, и без того сильно зарегулированной озером Байкал, сооружение каскада водохранилищ привело к практическому выравниванию стока в течение всего года.

Для Амура, нижняя часть бассейна которого расположена в зоне муссонного климата, многоводный сезон длится с мая по октябрь — сначала за счет снеготаяния, а затем за счет муссонных дождей. Зимняя межень продолжается с ноября по апрель. Изменения водного режима здесь, пожалуй, наименее выражены, хотя зимний сток также несколько возрос.

На рис. 5.30–5.32 приведены гидрографы стока рек, не имеющих искусственного регулирования и расположенных на севере ЕТР (Печора, Северная Двина, Онега, Мезень), северо-западе и западе (Нева, Западная Двина, Неман, верхний Днепр) и на АТР (Оленёк, Яна, Индигирка, Камчатка, Анадырь), а также показаны диаграммы, дающие представление о сезонном стоке этих рек и о его современных изменениях. На северных реках ЕТР (рис. 5.30) в течение весеннего половодья с апреля по июнь проходит около половины годового объема стока. Летне-осенняя межень продолжается с июля по ноябрь и за счет частых дождевых паводков дает 25–30% годового стока. Доля зимней межени, когда реки скованы ледяным покровом, уменьшается с запада на восток от 25–30 до 10–12% годового объема стока.

Климатические изменения в этом регионе проявились в увеличении на 2–5% зимнего стока Онеги и Северной Двины, в первую очередь, за

счет сокращения весеннего стока. В наименьшей степени климатические изменения сказались на внутригодовом распределении стока Мезени и Печоры.

Для рек северо-запада и запада ЕТР (рис. 5.31) характерны резко выраженное весеннее половодье с апреля по июнь, длительная летне-осенняя межень, часто прерываемая дождевыми паводками, и зимняя межень с декабря по март, иногда нарушаемая сильными оттепелями. Основной объем стока проходит весной, хотя на ряде рек объем летне-осеннего и даже зимнего стока может быть ненамного ниже весеннего за счет большей продолжительности этих сезонов. Современные климатические изменения проявились, прежде всего, в снижении весеннего (на 3–10%) и возрастании зимнего (на 2–4%) стока этих рек.

На р. Нева, зарегулированной системой крупнейших в Европе озер (Ладожское, Онежское, Ильмень и Сайма), самым многоводным является период с апреля по ноябрь, в течение которого озера накапливают и постепенно отдают талые и дождевые воды, а на долю зимней межени остается около четверти годового стока. Расходы воды в многоводный и маловодный сезоны при этом различаются менее чем в два раза. Произошедшие климатические изменения проявились на Неве, в отличие от незарегулированных рек, в возрастании стока в марте и апреле (на 6 и 13% соответственно), когда озера с запозданием отдают повышенный зимний сток своих притоков. Сток за декабрь–февраль при этом даже несколько снизился (на 4–10%). Распределение стока Невы по сезонам практически не изменилось.

Для северных рек Восточной Сибири (Оленёк, Яна, Индигирка, Анадырь) (рис. 5.32) характерно практическое отсутствие зимнего стока (от менее 1 до 3%) в течение полугодия, с ноября по апрель, так как значительная часть рек на их водосборах зимой перемерзает. За весеннее половодье с мая по июль проходит от 60 до 80% годового стока; летне-осенняя межень длится с августа по октябрь и также достаточно многоводна за счет частых дождевых паводков.

Следует заметить, что для Яны и Индигирки можно говорить о едином полугодовом многоводном периоде, в течение которого по рекам проходит 98–99% годового стока за счет таяния сначала зимних снеготаяний и наледей, а затем — многолетней мерзлоты с добавлением осадков. Здесь климатические изменения пока незначительно сказались.

на внутригодовом распределении стока. Интересно отметить лишь такой факт: на сток р. Яна в зимние месяцы (февраль—апрель) увеличился в 2–6 раз (см. табл. 5.19), хотя в абсолютном выражении он по-прежнему измеряется в литрах в секунду и в сумме составляет не более 1% годового стока.

На р. Камчатка режим стока определяется взаимодействием различных факторов — с одной стороны, близостью холодного материка и Охотского моря, а с другой — влиянием Тихого океана. Весенне-летнее половодье длится с мая по июль и дает 45–50% годового стока. Летне-осенняя межень, продолжающаяся с августа по октябрь, также весьма многоводна за счет обильных осадков, приносимых тихоокеанскими тайфунами, и дает около четверти годового стока. На Камчатке весьма распространены источники подземных вод, в том числе термальных, за счет которых зимняя межень, длящаяся, как и в Восточной Сибири, в течение полугода, с ноября по апрель, в отличие от нее довольно многоводна, давая около четверти годового стока. Из современных изменений можно отметить некоторое возрастание зимнего стока за счет весеннего.

Литература

- Андреев В. Г.* Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. — Л.: Гидрометеиздат, 1957. — 524 с.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., Лобанов В. А.* Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. — 2003. — № 1. — С. 18–30.
- Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред. Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. — М.: Наука, 2003. — 367 с.
- Бабкин В. И., Гусев О. А., Новикова В. А.* Методика осреднения и интерполяции гидрометеорологических характеристик // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 217. — С. 175–186.
- Бабкин В. И., Гусев О. А., Румянцев В. А.* Моделирование характеристик стока и водосборов в бассейне Дона с применением факторного анализа // Труды ГГИ. — 1972. — Вып. 200. — С. 3–25.
- Бабкин В. И., Постников А. Н.* Циклонические осадки и сток Оби и Енисея в маловодные и многоводные годы // Метеорология и гидрология. — 2002. — № 12. — С. 79–85.
- Боголепова М. О.* О колебаниях климата в Европейской России в историческую эпоху // Землеведение. — 1907. — Т. III–IV. — 58 с.
- Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике. — М.: Наука, 1967. — 608 с.
- Великанов М. А.* Водный баланс суши. — М.: Гидрометеорологическое изд-во, 1940. — 175 с.
- Вишневский В. И., Косовец А. А.* Влияние изменений климата на гидрологический режим рек Украины: Тезисы докл. VI Всерос. гидрологич. съезда, 28 сентября — 1 октября 2004 г., С-Петербург, секц. 3. — СПб.: Гидрометеоздат, 2004. — С. 223–224.
- Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. — Л.: Гидрометеоздат, 1967. — 199 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 301 с.
- Воскресенский К. П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеоздат, 1962. — 546 с.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л.* Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата // Докл. междунар. симпозиума «Расчеты речного стока». — ЮНЕСКО. — 1997. — С. 75–81.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И.* Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. — 1996. — № 11. — С. 89–99.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шикломанов И. А., Шерешевский А. И.* Возможные изменения ресурсов и водного режим в бассейне Днепра при различных сценариях потепления климата // Материалы науч.-технич. конф. «Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси». — Минск. — 1996. — Т. 1. — С. 21–23.
- Гольберг М. А., Волобуева Г. В., Кулешова И. Ю.* Климатические изменения в Беларуси в конце XX века // Тезисы докл. науч. конф. по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах-участниках СНГ, посвященной 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии. — С.-Петербург, 23–26 апреля 2002. — СПб.: Гидрометеоздат, 2002.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я.* Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С. 50–66.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я.* Климатические изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России по данным инструментальных наблюдений // Труды Британско-Российской конф. «Гидрологические последствия изменения климата». — Новосибирск, 2007. — 230 с.
- Дейвид Г.* Порядковые статистики. — М.: Наука, 1979. — 335 с.

- Зайков Б. Д.* Средний сток и его распределение в году на территории СССР // Труды ГГИ. — 1946. — Сер. IV. — Вып. 24. — 148 с.
- Калинин Г. П.* Проблемы глобальной гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 377 с.
- Калинин Г. П., Давыдова А. И.* Исследование циклических колебаний стока рек северного полушария // Многолетние колебания стока. — М.: Изд-во МГУ, 1967. — С. 5–37.
- Крицкий С. Н., Менкель М. Ф.* Гидрологические основы речной гидротехники. М.; Л.: Изд. АН СССР, 1950. — 392 с.
- Кузин П. С.* Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1960. — 455 с.
- Кузин П. С.* Циклические колебания стока рек Северного полушария. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 178 с.
- Львович М. И.* Опыт классификации рек СССР // Труды ГГИ. — 1938. — Вып. 6. — 58 с.
- Опиков Е. В.* Колебания водоносности рек в историческое время // Исследования рек СССР. — Л.: Изд-во ГГИ, 1936. — Вып. 4. — С. 4–22.
- Поляк И. И.* Оценка линейного тренда временных метеорологических рядов // Труды ГГО. — 1975. — Вып. 364. — С. 51–55.
- Поляков Б. В.* Гидрологический анализ и расчеты. — Л.: Гидрометеоздат, 1946. — 480 с.
- Пространственно-временные колебания стока рек СССР / Под ред. А. В. Рождественского. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 376 с.
- Семенов В. А.* Особенности климатических изменений стока рек равнинных и горных территорий Севера и Центра России // Тезисы докл. VI Всеросс. гидролог. съезда, 28 сентября — 1 октября 2004 г., С.-Петербург, секц. 3. — СПб.: Гидрометеоздат, 2004. — С. 232–233.
- Семенов В. А., Алексеева А. К.* Региональные особенности климатических изменений стока рек СССР // Метеорология и гидрология. — 1989. — № 9. — С. 91–97.
- Семенов В. А., Алексеева А. К., Дягтеренко Т. И.* Изменения стока рек России и прилегающих территорий в XX столетии // Метеорология и гидрология. — 1994. — № 2. — С. 76–83.
- Соколовский Д. Л.* Речной сток. — Л.: Гидрометеоздат, 1994. — 527 с.
- Шерешевский А. И., Сеницкая Л. К.* Адаптация социально-экономической сферы к возможному изменению климата // Тезисы докл. VI Всеросс. гидролог. съезда, 28 сентября — 1 октября 2004 г. С.-Петербург, секц. 3. — СПб.: Гидрометеоздат, 1994. — С. 247–249.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР // Географические направления в гидрологии. — М.: Изд-во РАН, 1995. — С. 96–107.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Сток реки Волги и уровни Каспийского моря: влияние естественных и антропогенных факторов // Междунар. науч.-промышл. форум «Великие реки 2000». — Н. Новгород, ННГАСУ, 2000. — С. 45–48.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствия. — СПб.: Наука, 2002. — С. 152–164.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России // Тезисы докл. Всемирной конф. по изменению климата. Москва, 29 сентября — 3 октября. — 2003. — С. 250.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологич. съезда, 28 сентября — 1 октября 2004 г. С.-Петербург, секц. 3. — СПб.: Гидрометеоздат, 2004. — С. 200–201.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л.* Причины повышения уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. — СПб.: Гидрометеоздат, 2003. — С. 254–266.
- Шнитников А. В.* Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. — 337 с.
- Шнитников А. В.* 1969. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности // Очерки АН СССР. Геогр. общ. СССР. — Л.: Наука. — 245 с.
- Bergstrom S., Carlsson B.* Hydrology of the Baltic basin // SMHI Reports Hydrology, 1957. — N 7. — April. — 28 p.
- Georgievsky V. Yu.* On global climate warming effects on water resources // Water: a Looming Crisis? Proc. of the International Conference on World Water Resources at the Beginning of the 21st Century (UNESCO). — Paris, 1998. — P. 37–46.
- Georgievsky V. Yu., Ezhov A. V., Shalygin A. L.* Studying the effects of climate variability on hydrological cycle elements by the water-balance station data // Proc. of the Second International Conference on Climate and Water. — Helsinki, 1998. — Vol. 3. — P. 1623–1631. Espoo, Finland, 17–20 August, 1998.
- Georgievsky V. Yu., Zhuravin S. A., Ezhov A. V.* Assessment of trends in hydrometeorological situation on the Great Russian Plain under the effect of climate variations // Proc. of American Geophysical Union, 15-th Annual Hydrology Days. — 1995. — P. 47–58.
- Georgievsky, V. Yu., Ezhov A. V., Ignashin A. V., Shalygin A. L.* The Management of Water Resources System Under

- Climate Change // Proc. of the Second International Conference on Climate and Water. — 1998. — Vol. 3. (Espoo, Finland, 17–20 August 1998).
- Georgiyevsky V. Yu., Shiklomanov I. A.* Climate change and water resources // World Water Resources at the Beginning of the 21 st Century. — Cambridge Univ. Press, 2003. — P. 390–413.
- Hisdal H., Holmqvist E., Kuusisto E., Lindsröm G., Roald L. A.* Has streamflow changed in the Nordic countries? // XXIII Nordic Hydrological Conference. — Tallinn, Estonia, 8–12 August 2004. — Tartu, NHP Report, 2004. — N 8.
- IPCC. Climate Change: The Science of Climate Change / Eds. J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. Contribution of WORKING Group I to the 2nd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge Univ. Press, 1995. — 572 p.
- IPCC. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. J. T. Houghton et al. — Cambridge Univ. Press, 2001. — 881 p.
- IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.). — Cambridge Univ. Press; Cambridge, United Kingdom; New York, 2007. — 996 p.
- Krasovskaya I.* Quantification of stability of river flow regimes // J. Hydrological Sciences, IAHS. — 1995. — Vol. 40. — N 5. — P. 587–597.
- Krasovskaya I.* Sensitivity of the stability of river flow regimes to small fluctuations in temperature // J. Hydrological Sciences. — IAHS. — 1996. — Vol. 41. — N 2. — April. — P. 251–264.
- Nekrasova L.* Influence of climate fluctuation during 1988–2002 on a hydrological regime of the rivers of Belarus. — XXIII Nordic Hydrological Conference. Tallinn, Estonia 8–12 August 2004 // NHP Report. — 2004. — N 48.
- Polutikov J. P.* Some possible impacts of greenhouse gas induced climatic change on Water resources in England and Wales // IAHS Publication. 168. — 1987. — P. 585–596.
- Schumann A. H.* Changes in hydrological time series — a challenge for water management in Germany. Proc. of Yokohama Symp., July 1993 // IAHS Publ. — 1993. — N 213. — P. 95–102.
- Shiklomanov I. A., Georgievsky V. Yu.* Problems of the effect of anthropogenic climate changes on hydrological parameters and water management // Proc. of the XVI Conference of Danube Countries. — Kellheim, 1992.
- Shiklomanov I. A. Rodda (egl.).* World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century // UNESCO. — Cambridge Univ. Press, 2003. — 436 p.
- Tarend D. D.* Changing flow regimes in the Baltic States. — In: Proc. 2nd Int. Conf. on Climate and Water (Espoo, Finland, August 1998). — Helsinki: Helsinki University of Technology. — Vol. 1. — 1998. — P. 109–117.
- Zhuravin S. A.* Hydrological characteristics of small rivers in central European Russia. In: FRIEND, Flow Regimes from International Experimental and Network Data: Proc. Second FRIEND Conf., Braunschweig, October 1993 / Ed. by P. P. Seuna, A. Gustrad, N. W. Arnell, G. A. Cole // IAHS Publ. — 1993. — N 221. — P. 199–206.
- Zhuravin S. A.* Change of hydrological regimes over the central part of European Russia resulting from climate variations // FRIEND 2002- Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice / Ed. by A. J. Henny van Lanen, S. Demuth // IAHS Publ. — 2002. — N 274. — P. 441–447.

Глава 6

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОЗЕР

6.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТЕРРИТОРИИ

Российская Федерация — одна из самых «озерных» стран мира: во время последней инвентаризации в стране было определено более 2,8 млн озер, включая озера с площадью зеркала менее 1 км².

В табл. 6.1 приведено общее количество озер для Европейской и Азиатской частей России площадью более 1 км². Из числа озер площадью более 50 км² исключены те, площадь зеркала которых значительно изменилась в результате строительства гидроузлов, например озера Имандра, Верхняя и Нижняя Пиренга, Кубенское, Белое, Выг-озеро, Онд-озеро, Сег-озеро и др. Водные ресурсы подобных озерных водохранилищ учтены в разделе настоящего исследования, посвященного водохранилищам России. Водные ресурсы Каспийского моря в данной главе монографии не рассматриваются.

Местоположение озер площадью более 250 км² показано на цв. вкл., рис. 9; из них: 29 озер — пресные, оз. Чаны — солоноватое, остальные — соленые. Площадь крупнейших (площадью более 1000 км²) и малых (площадью от 1 до 10 км²) озер

составляет около 70% площади зеркала всех озер страны (рис. 6.1).

На территории России озера распространены крайне неравномерно (см. цв. вкл., рис. 10): в то время как в одних частях страны озера встречаются редко или вовсе отсутствуют, в других, наоборот, озера занимают значительные площади, местами более 10% от общей площади территории.

В Российской Федерации выделяются следующие озерные районы: Северо-Западный, Прикаспийский, Западно-Сибирский, Северо-Сибирский, Забайкальский, Амурский и Камчатский.

Северо-Западный озерный район охватывает территорию Кольского полуострова, Карелии, Ленинградской, Псковской, Новгородской и Вологодской областей. Этот район является частью «озерного края», включающего в себя озера Финляндии, Эстонии, Латвии, Литвы и северной части Белоруссии. В пределах северо-западного района наряду с большим количеством малых и средних озер расположены такие крупнейшие озера, как Ладожское, Онежское, Ильмень, Чудско-Псков-

Таблица 6.1

Озера России по градациям площади зеркала

Площадь зеркала, км ²	Количество озер			Суммарная площадь зеркала, км ²
	ЕТР	АТР	Российская Федерация в целом	
1–10	4830	28370	33200	76940
10–50	429	1274	1703	32790
50–100	38	125	163	11163
100–1000	20	69	89	20924
> 1000	4	4	8	74020
Всего	5321	29842	35163	215837

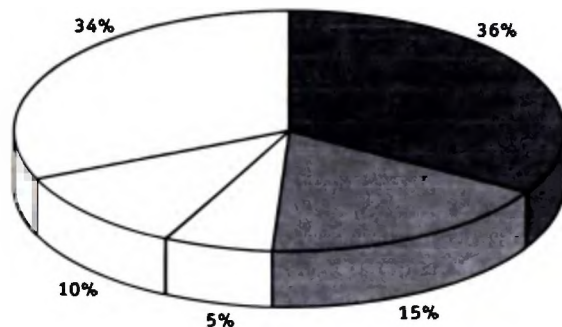


Рис. 6.1. Распределение суммарной площади зеркала озер страны по градациям их площади

ское (с Эстонией), а также многочисленные озерные водохранилища. Озерность территории района без крупнейших озер и водохранилищ изменяется от 5,4% для Карелии и северо-западных областей до 7,6% — для северной части Кольского полуострова. Если учесть крупнейшие озера, то озерность южной части района повышается до 12,6%.

Прикаспийский озерный район включает в себя многочисленную группу озер Прикаспийской низменности, Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. Далее на восток этот район распространяется на северо-западную часть Казахстана. Здесь широко распространены временные водоемы, которые обычно образуются в понижениях рельефа, и наполняются главным образом талыми водами и водами разлившихся рек. В среднем озерность этого района составляет 1–2%, однако, для дельт Волги и Терека она повышается соответственно до 11 и 12% (Доманицкий и др., 1971). Среди озер района встречаются и большие, в основном бессточные, озера, например Эльтон и Баскунчак. В условиях засушливого климата подавляющее большинство озер района относится к соленым и горько-соленым.

Западно-Сибирский озерный район состоит из двух подрайонов: северного и южного. Северный подрайон включает в себя озера лесотундры и Западно-Сибирской лесо-болотной зоны. На этой территории расположено более 680 000 озер, из которых только 8500 имеют площадь более 1 км². Озерность территории составляет 3,8%.

В Южном подрайоне выделяется несколько озерных групп: оз. Барабинской (с крупнейшим озером Чаны), Кулундинской (с крупным оз. Кулундинское) и Ишимской степей, а также мелкие степные водоемы Челябинской области. За пределами Российской Федерации подрайон распространяется на территорию Казахского мелкосопочника. В этом подрайоне распространены бессточные озера с высокой минерализацией, многие из них являются солеными и горько-солеными. Озерность территории составляет 2,3% с учетом современной площади зеркала оз. Чаны.

Северо-Сибирский озерный район представлен озерами Западно-Сибирской тундровой зоны, Северо-Сибирской, Яно-Индибирской и Колымской низменностей, северных склонов Путорана. Общее количество озер района составляет более 600 тыс., а озер площадью более 1 км² — около 12 600. Крупнейшим озером территории является оз. Таймыр, кроме того, выделяются озера с площадью зеркала более 250 км² в районе Хатангского залива: Порт-

нягино и Кунгасалах, а также группа крупных озер в районе Норильска: Хантайское, Кета, Лама, Мелкое и Пясино. Озерность изменяется от более 10% в дельте Лены, 5–10% для Западно-Сибирской тундровой зоны и Яно-Индибирской низменности до 3–5% для остальной территории района.

Забайкальский озерный район представлен 50 тыс. разнообразных озер, включая крупнейшее пресноводное озеро России — Байкал. Из других водоемов следует отметить группы Еравинских и Арахлейских озер, а также оз. Зун-Торей и Барун-Торей, которые периодически высыхают в маловодные периоды. В северной и западной частях района распространены в основном пресные проточные водоемы. Для юго-восточной части района характерны замкнутые соленые озера. Озерность территории, включая площадь зеркала оз. Байкал, составляет 3,9%.

Амурский озерный район включает в себя озера бассейна Амура ниже слияния рек Шилка и Аргунь. Крупнейшим озером района является оз. Ханка. Кроме того, здесь находится большое количество достаточно крупных озер площадью более 250 км², среди которых выделяются Чукчагирское, Болонь, Удыль, Орель и Кизи, соединенные с Амуром протоками и в период половодья питающиеся его водами. Озерность района, включая площадь зеркала оз. Ханка (с КНР), составляет 1,1%.

В **Камчатском** озерном районе находится более 40 тыс. озер, 199 из которых имеют площадь зеркала более 1 км². Озера этого района весьма своеобразны (Соколов, 1964): это так называемые вулканические озера, крупнейшими из которых являются Курильское и Кроноцкое, кроме того, здесь встречаются озера лагунного типа, например, оз. Нерпичье в устье р. Камчатка. Озерность территории — 1,1%.

Водоемы площадью менее 1 км² в основном представляют собой болотные озера, эфемерные водоемы зоны тундры, пересыхающие озера засушливой зоны, малые пруды-водохранилища, а также водоемы «старичного» типа в поймах и дельтах равнинных рек Днепр, Дон, Печора и др.

6.2. ЗАПАСЫ ВОДЫ

Около 96% всех запасов озерных вод страны сосредоточено в восьми крупнейших озерах России площадью более 1000 км², из них 23 615 км³,

Озера России площадью более 250 км²

Озеро	Река (бассейн) район	Площадь, км ²		Максимальная глубина, м	Объем, км ³	Соленость
		водосбора	зеркала			
Байкал ¹	Ангара — Енисей	571 000	31 722	1642	23 615	пресное
Ладожское ²	Нева	276 000	17 872	228	838	пресное
Онежское ²	Свирь — Нева	62 800	9693	120	292	пресное
Таймыр	Нижняя Таймыра	43 920	4560	26	12,8	пресное
Ханка ³	Амур	20 100/18 400	4190/3030	10,6	18,5	пресное
Чудско-Псковское ³	Нарва	47 800/27 917	3555/1990	15,3	25,07	пресное
Чаны ⁴	Обь-Иртышское междуречье	23 600	1294	8,5	2,58	солончатое
Ильмень ⁵	Волхов — Нева	67 200	1100	4,25	2,85	пресное
Хантайское ⁶	Енисей	11 900	822	420	~82	пресное
Пясино ⁶	Пясины	24 000	735	10	~2,9	пресное
Кулундинское	Обь-Иртышское междуречье	24 100	728	4,9	~1,8	соленое
Барун-Торей ⁷	Междуречье Аргуни и Онона	25 700	578			соленое
Нерпичье (Култучное)	Камчатка	2550	552	н. с.	н. с.	пресное
Лабаз	Хатанга	1260	470	н. с.	н. с.	пресное
Красное	Анадьрь	10 100	458		~0,6	пресное
Кета (Хита) ⁶	Пясины	2990	452	50	н. с.	пресное
Убинское ⁸	Обь-Иртышское междуречье	2990	440	2,8	0,88	пресное
Пекулейское	Майна — Берингово море	2500	435	н. с.	н. с.	пресное
Воже (Чарондское)	Онега	6260	416	4,5	1,08	пресное
Портнягино	Гусиха-Хатангский зал.	1460	376	н. с.	н. с.	пресное
Чукчагирское	Амур	1060	366	6	0,73	пресное
Болонь (Нури-Оджал)	Амур	12 500	338	3,5	~0,3	пресное
Лача	Онега	12 600	334	5,3	1,00	пресное
Удыль	Амур	12 400	330	5	~0,83	пресное
Маготоево	Протокой соединяется с Восточно-Сибирским морем	1170	323	н. с.	н. с.	н. с.
Лама ⁶	Пясины	6210	318	254	~17,00	пресное
Орель	Амур	4990	314	2,6	~0,80	пресное
Умб-озеро	Умба	2130	313	115	4,65	пресное
Зун-Торей ⁷	Междуречье Аргуни и Онона	26 000	302			соленое
Большое Кизи (Кизи)	Амур	5100	281	4	~0,70	пресное
лим. Бейсугский	Восточное Приазовье	5190	272	н. с.	н. с.	соленое
Мелкое ⁶	Пясины	12 100	270	22	~1,1	пресное
Кунгасалах ⁶	Новая — Хатангский залив	988	270	н. с.	н. с.	пресное
Сямозеро	Шуя	1580	266	24	1,79	пресное

Примечание. Н. с. — нет сведений; 1 — морфометрические характеристики оз. Байкал приняты по результатам работ по проекту ИНТАС 99–1669 Team: www.lin.irk/intas/morphometry.ru; 2 — по данным (Ладожское озеро... 2000); 3 — для озера Ханка (с КНР) и Чудско-Псковское (с Эстонией) приведены общая площадь водосбора и озера (в числителе) и площади в пределах РФ (в знаменателе); 4 — оз. Чаны без Юдинского плеса; 5 — для оз. Ильмень характеристики приведены для среднего многолетнего уровня; 6 — по данным (География озер Таймыра, 1985); 7 — площадь озер Зун-Торей и Барун-Торей при максимальном наполнении, периодически пересыхают в маловодные периоды; 8 — по данным (Новосибирское водохранилище... 1979).

или 95,2%, находится в чаше оз. Байкал (табл. 6.2). Водные ресурсы крупнейших пресноводных озер страны широко используются для различных нужд экономики и населения страны (гидроэнергетика, водоснабжение, водный транспорт, рекреация и др.).

В табл. 6.3 приведены площадь и объем воды в озерах площадью более 50 км² по бассейнам крупнейших рек России. Наибольшие запасы озерных вод сосредоточены в бассейнах рек Енисей и Нева, где располагаются крупнейшие озера Евразии: Байкал, Ладожское, Онежское и Ильмень. В бассейне

р. Обь не учитывались бессточные озера бассейна средней Оби.

Таблица 6.3

**Водные ресурсы озер площадью более 50 км²
по бассейнам крупнейших рек**

Водосборный бассейн реки	Площадь зеркала, км ²	Объем воды, км ³
Нева	30030	1140,00
Волга	393	2,00
Кубань	504	0,12
Обь	3585	47,50
Енисей	34560	23700,00
Лена	633	3,75
Амур	5293	21,60

6.3. УРОВЕНЬ ВОДЫ

Систематические наблюдения за уровнем воды озер в России начаты в середине XIX в., в частности на Ладожском озере, в 1859 г. Такие крупнейшие озера России как Байкал, Онега, Ильмень, Чудско-Псковское и Ханка имеют менее продолжительные ряды систематических наблюдений: Онежское оз. — с 1884 г., Байкал — с 1901 г., Чудско-Псковское — с 1907 г., Ильмень — с 1916 г. Более короткие ряды наблюдений на оз. Ханка (с 1932 г.), Чаны (с 1934 г.), Таймыр (с 1960 г.).

Средний многолетний уровень **Ладожского озера** за период 1859–2005 гг. составляет 4,83 м Балтийской системы (БС) с амплитудой колебания, равной 2,37 м. Максимальный средний годовой уровень наблюдался в 1924 г. (6,10 м БС), а минимальный в 1940 г. — 3,73 м БС. За последние десятилетия высокий уровень был отмечен в 2005 г.,

когда после ряда маловодных лет он поднялся до 5,21 м БС.

Средняя годовая амплитуда уровня воды озера равна 0,70 м. Минимальный уровень приходится на январь, максимальный уровень достигается в июне. Неравномерность прохождения по огромному бассейну Ладоги весеннего половодья определяет плавный ход весеннего подъема уровня озера и относительно небольшую его величину. Весенний подъем уровня воды начинается в апреле и составляет в среднем 0,48 м.

Анализ внутривековых изменений среднего годового уровня озера показал наличие устойчивого отрицательного линейного тренда, который на 150-летнем интервале составляет -4 см/10 лет и статистически значим. Эта скорость снижения уровня воды озера сохранилась и даже усилилась в последние 25 лет, однако для периода 1981–2005 гг. оценка линейного тренда равна 17 см/10 лет, но тренд статистически незначим. На рис. 6.2 приведен ход среднего годового уровня воды Ладожского оз. за весь период наблюдений (а) и за последние 25 лет (б).

В результате анализа многолетнего ряда выделяются три цикла колебаний общей увлажненности бассейна Ладоги. Цикл увлажненности, начавшийся в 1953 г., закончился в 1981 г., а с 1982 г. начался новый, состоящий из многоводной фазы 1982–1995 гг. и маловодной, которая к 2006 г. еще не завершилась (рис. 6.3). Аналогичные выводы получены А. М. Догановским (Современные проблемы... 2006).

К водосборному бассейну Ладожского оз. принадлежит **озеро Ильмень** — четвертое по площади озеро ЕТР, значительно отличающееся от других больших озер уровнем режимом.

Уникальность оз. Ильмень заключается в большой амплитуде колебания уровня воды, которая

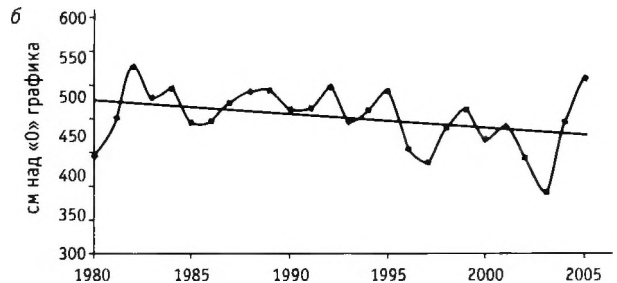


Рис. 6.2. Ход среднего годового уровня воды Ладожского оз. и линейные тренды за период наблюдений (а) и за последние десятилетия (б)

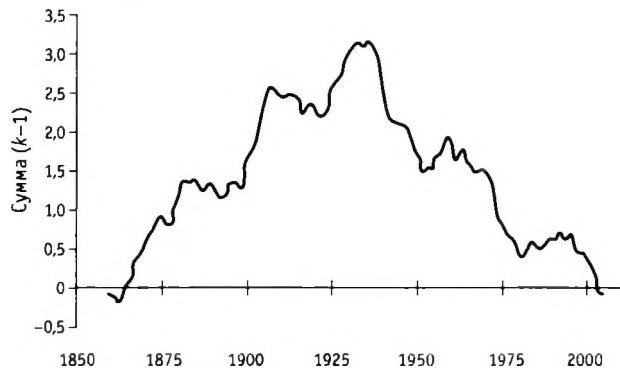


Рис. 6.3. Интегральная кривая модульных коэффициентов среднегодового уровня Ладожского оз.

составляет 7,5 м, и больше не наблюдается ни на одном из озер нашей страны. Значительные колебания уровня воды связаны избыточным увлажнением водосборного бассейна и большой проточностью озера, характеризуемой показателем удельного водосбора (отношение площади бассейна водоема к площади зеркала). Площадь бассейна оз. Ильмень в 60 раз превышает площадь его зеркала (у Ладожского оз. этот показатель равен 15, а у Онежского — 5). Из-за значительных колебаний уровня и плоской котловины озера площадь зеркала Ильменя может изменяться более чем в три раза, а объем воды в нем — в 12 раз (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Морфометрические характеристики озера Ильмень

Уровень	Уровень, м БС	Объем, км ³	Площадь, км ²	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м
Низший	16,00	1,01	660	1,55	2,25
Средний	18,00	2,85	1100	2,60	4,25
Высший	23,50	12,07	2230	5,40	9,75

Фазами гидрологического режима озера являются весенний и осенне-зимний подъемы уровня, характеризующиеся следующими особенностями:

- значительное превышение максимума весеннего подъема над максимумом осенне-зимнего подъема (568 см и 230 см над «0» графика). Подъем уровня воды весной начинается в апреле и длится 1–1,5 месяца, причем рост уровня составляет 3 м над зимним меженным уровнем, средняя скорость весеннего подъема уровня воды равна 10–25 см в сутки;
- близкое положение весеннего и осеннего минимальных уровней (204 см и 193 см над «0» графика)

ка) при незначительном превышении первого над вторым.

Внутригодовая амплитуда уровня озера изменялась от 537 см (1966 г.) до 187 см (1954 г.).

Максимальный средний годовой уровень воды наблюдался в 1953 (20,03 м БС), а также в 1990 г. (19,65 м БС). Минимальный уровень воды озера предшествует году самого низкого уровня Ладоги в 1940 г. и равен 17,46 м БС. После 1939 г. такой уровень воды отмечался только в 1972 и 1996 гг.

На рис. 6.4 приведена разностно-интегральная кривая среднего годового уровня воды озера, которая позволяет выделить три многоводных и два маловодных периода. Продолжительность полного цикла колебаний уровня воды составляет 30–40 лет. С 1994 г. наблюдаются короткопериодные фазы низкого и высокого стояния уровня воды продолжительностью от 2 до 5 лет.

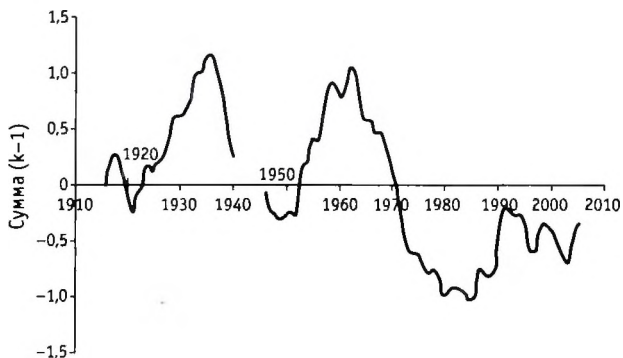


Рис. 6.4. Интегральная кривая модульных коэффициентов среднегодового уровня воды оз. Ильмень

Устойчивой тенденции за период наблюдений и за 1980–2005 гг. в ходе среднего годового уровня воды оз. Ильмень не обнаруживается.

Строительство в 1921–1926 гг. Волховской ГЭС, которая в основном осуществляет суточное и недельное регулирование стока, на многолетний ход уровня воды озера влияет незначительно.

Уровеньный режим **Онежского озера**, второго по величине озера Европы, формировался в естественных условиях до 1951 г., когда была построена Верхне-Свирская ГЭС. Средний годовой уровень Онежского оз. за период естественного режима 1884–1951 гг. был равен 0,96 м (над «0» графика), а в 1953–2005 гг. составил 1,31 м.

Максимальный средний годовой уровень наблюдался в 1904 (1,53 м), а также в 1903 и 1924 гг. (1,47 м). Минимальный уровень Онежского оз. (0,23 м) был

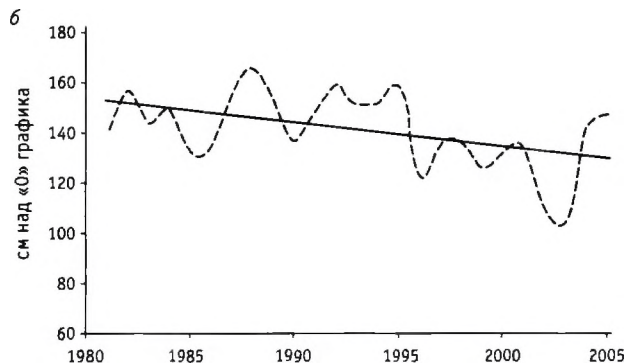
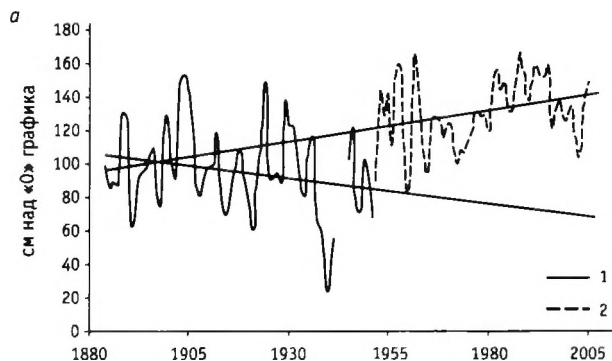


Рис. 6.5. Ход среднегодового уровня воды Онежского оз. и линейные тренды:

а — 1884–1951 гг. (1), 1952–2005 гг. (2); б — с 1981 по 2005 гг.

зарегистрирован в 1940 г., в году самого низкого стояния уровня Ладоги. После строительства ГЭС уровень воды Онеги не опускался ниже 0,84 м, а максимальный средний годовой уровень в 1962 г. на 10 см превысил значение 1904 г. Таким образом, в результате строительства ГЭС амплитуда колебаний среднего годового уровня воды Онежского оз. сократилась с 1,30 м до 0,79 м.

Изменения уровня воды Онеги на внутривековом интервале кардинально отличаются от изменений уровня Ладожского оз. Поскольку однородность ряда уровня Онеги была нарушена в 1951 г., то отдельно анализировался период естественного гидрологического режима (1884–1951 гг.) и период зарегулированного режима (1952–2005 гг.). Кроме того, показана тенденция в ходе уровня воды для последних десятилетий на фоне современного потепления (1981–2005 гг.) (рис. 6.5 а, б).

Линейные тренды имеют разный знак. Отрицательный тренд уровня воды озера, составлявший — 3 см/10 лет за период 1884–1951 гг., сменился положительным трендом — 4 см/10 лет, на фоне которого за последние 25 лет уровень озера снижается со скоростью 10 см/10 лет. Линейные тренды значимы на 95% доверительном уровне для всех трех интервалов времени.

Чудско-Псковское озеро — третье по площади озеро Европы. Наблюдения за уровнем начаты в 1907 г., но носят отрывочный характер, так как ряд данных имеет большие пропуски до 1947 г.

Средний многолетний годовой уровень воды составляет 30,07 м БС, максимальный уровень 30,92 м БС наблюдался в 1928 г., а минимальный, 29,34 м в — 1994 г.

Уровень Чудско-Псковского оз. имеет два максимума в годовом ходе — весенний и осенний.

Подъем уровня даже весной не превышает 63 см над уровнем зимней межени. Абсолютная амплитуда колебаний уровня озера составляет 3,03 м.

Уровень воды за период наблюдений имеет статистически значимый отрицательный тренд — 6 см/10 лет, который увеличился после 1980 г. и составляет — 16 см/10 лет для периода 1981–2005 гг.

Анализ уровня **озера Байкал** выполнен для двух периодов: естественного режима — с начала наблюдений в 1901 г. до 1955 г., и зарегулированного режима — с 1959 по 2005 г. В период 1956–1958 гг. в 70 км от истока р. Ангара была построена плотина Иркутской ГЭС и заполнено Иркутское водохранилище, что привело к росту уровня воды озера. В 1964 г. уровень воды Байкала достиг отметки 456,80 м БС, что на 1,30 м выше среднего многолетнего значения и является максимальным среднегодовым уровнем за весь период наблюдений (рис. 6.6). В дальнейшем средний уровень озера поддерживается на 1 м выше среднего уровня Байкала до строительства ГЭС.

Оз. Байкал является примером существенных изменений гидрологического режима под влияни-

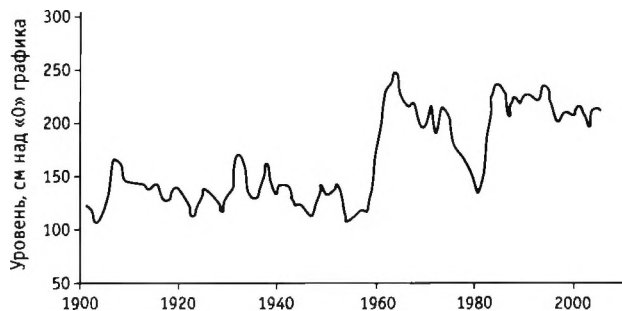


Рис. 6.6. Ход среднегодового уровня воды оз. Байкал за период наблюдений

ем гидротехнического строительства, которые были в значительной степени смягчены научно-обоснованными административными решениями. Первоначально установленные «Основными правилами использования водных ресурсов водохранилища Иркутской ГЭС» в 1982 и 1988 гг. пределы эксплуатационных изменений уровня воды в Байкале в отметках 457,4–455,54 м были пересмотрены и отменены Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.03.2001 г. № 234 «О предельных значениях уровня воды в оз. Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности». Этим Постановлением были установлены минимальный уровень 456 м Тихоокеанской системы (ТО) и максимальный уровень 457 м ТО.

Годовой ход уровня оз. Байкал в условиях подпора от плотины ГЭС в целом соответствует естественному режиму. Однако влияние ГЭС привело к смещению на более поздние сроки минимального и максимального значений уровня озера и к увеличению амплитуды его колебаний с 80 до 113 см, но с 2001 г. амплитуда колебания уровня воды составляет 100 см, т. е. поддерживается в пределах установленных отметок.

Средний годовой уровень оз. Байкал не имеет значимой и устойчивой тенденции ни за период естественного режима (1901–1955 гг.), ни за последние 25 лет, что отличает его от озер ЕТР (Ладожского и Онежского). Период 1959–1980 гг. характеризуется снижением уровня от максимального значения в 1964 г. до минимального в 1980 г., однако статистическая оценка линейного тренда не значима. Если уровень 1964 г. был максимальным для всего ряда наблюдений, то минимальный уровень 1980, 1981, 1997 гг. и 2003 г. был на 80 см выше значений низких уровней, наблюдавшихся в 1920-х гг.

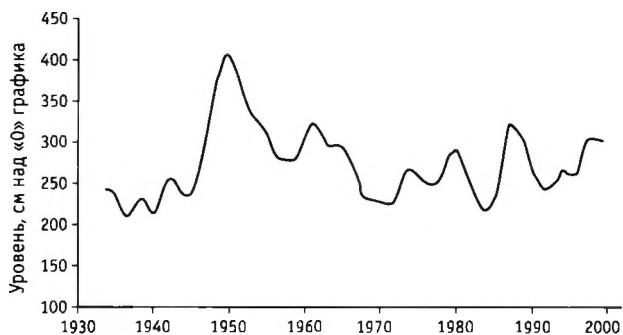


Рис. 6.7. Ход среднегодового уровня воды оз. Чаны за 1933–2005 гг.

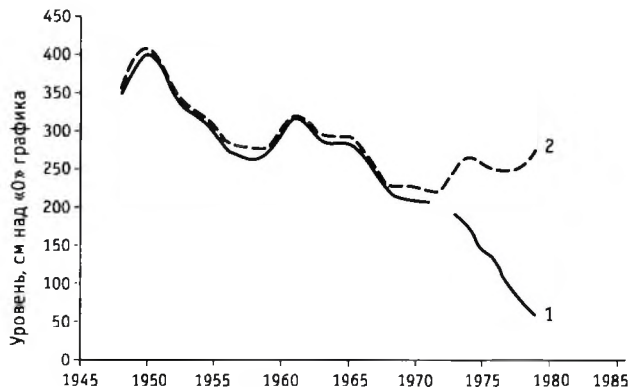


Рис. 6.8. Ход уровня воды Юдинского плеса (1) и оз. Б. Чаны (2)

Многолетние колебания уровня воды озера Чаны за период достоверных инструментальных наблюдений на стационарной сети Росгидромета приведены на рис. 6.7.

Уровень бессточного оз. Чаны, расположенного в зоне степей, подвержен значительным колебаниям (до 5 м). С начала XX вв. до 1914 г. общий подъем уровня составил 2 м, а с 1914 по 1937 г. зафиксировано падение уровня на 3 м. С 1937 по 1950 г. отмечался резкий подъем уровня озера, равный 198 см, который к 1972 г. сменился его падением на 184 см. Дальнейшее падение уровня воды озера было приостановлено путем отчленения Юдинского плеса. На рис. 6.8 представлен совмещенный график хода уровня воды Юдинского плеса и оз. Б. Чаны (Квашино). После отчленения плеса произошло резкое падение уровня воды в нем, составившее к 1979 г. около 1,5 м, и наблюдения за уровнем воды в плесе были прекращены.

Период 1972–1980 гг. характеризовался незначительным ростом уровня, составившим 66 см.

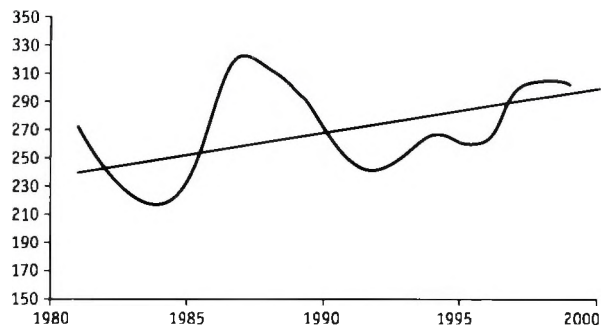


Рис. 6.9. Ход среднегодового уровня воды (см) оз. Б. Чаны в 1981–2000 гг.

Разница между экстремальными уровнями за период достоверных инструментальных наблюдений составила около 2 м. В 1981–2000 гг. отмечается статистически значимый линейный тренд уровня воды 30 см/10 лет (рис. 6.9).

6.4. ВОДНЫЙ БАЛАНС

В процессе внешнего водообмена в крупнейших озерах России в настоящее время ежегодно участвует примерно 243 км^3 воды (табл. 6.5), при этом на долю оз. Ладожское и Байкал приходится около 67,8% ежегодно возобновляемых водных ресурсов.

Поступление воды в озера происходит в основном за счет притока воды по рекам ($205 \text{ км}^3/\text{год}$) и осадков на их акваторию ($37,8 \text{ км}^3/\text{год}$). С поверхности крупнейших озер страны испаряется примерно $32,6 \text{ км}^3/\text{год}$ воды. Доля притока изменяется от 40% (оз. Чаны) до 96,3% (оз. Ильмень) (табл. 6.6). Для оз. Чаны и Ханка большую часть прихода составляют осадки на акваторию, соответственно, 60 и 54,9%.

Для анализируемых озер прослеживается увеличение доли осадков на акваторию озера с уменьшением коэффициента водосбора (рис. 6.10), что подтверждает результаты ранее проведенных исследований (Рекомендации... 1989). При построении зависимости не использованы данные по оз. Чаны и Таймыр, расположенным, соответственно, в зонах степи и тундры в отличие от прочих крупнейших озер России. Кроме того, для оз. Чаны и Таймыр баланс за рассматриваемый период не рассчитывался из-за отсутствия необходимой информации.

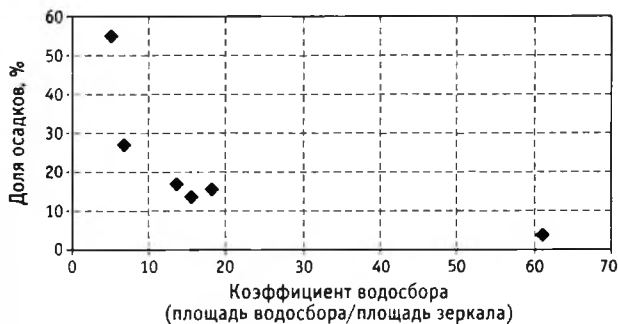


Рис. 6.10. Зависимость доли осадков в приходной части водного баланса от коэффициента водосбора

Для оценки влияния современных изменений климата на водный баланс крупнейших озер России проведено сопоставление элементов их водного баланса за период до 1980 г. и за последние 25 лет (табл. 6.5).

Для озера Байкал рассматриваются четыре периода: 1901–1958 гг. — период естественного режима озера; 1959–1962 гг. — наполнение Иркутского водохранилища, 1963–1980 гг. — период зарегулированного режима и последние 25 лет.

Последние 25 лет отличаются в среднем повышенным притоком (рис. 6.11) и увеличением испарения с акватории озера вследствие уменьшения продолжительности периода ледостава (на 20 дней) и увеличения температуры воды в озере по сравнению с естественным режимом.

Наблюдающееся с 1996 г. некоторое уменьшение водности по сравнению с началом периода пока незначительно сказалось на средних характеристиках.

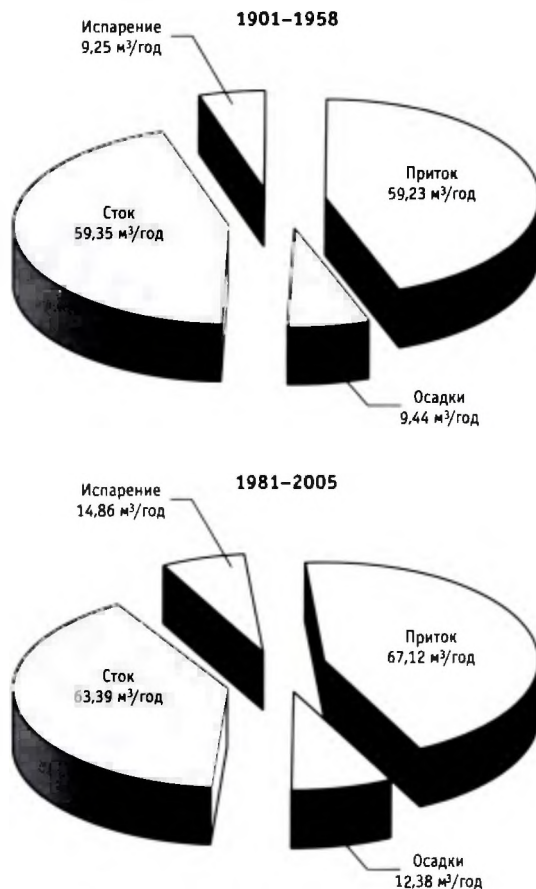


Рис. 6.11. Структура водного баланса оз. Байкал за периоды естественного режима за 1981–2005 гг.

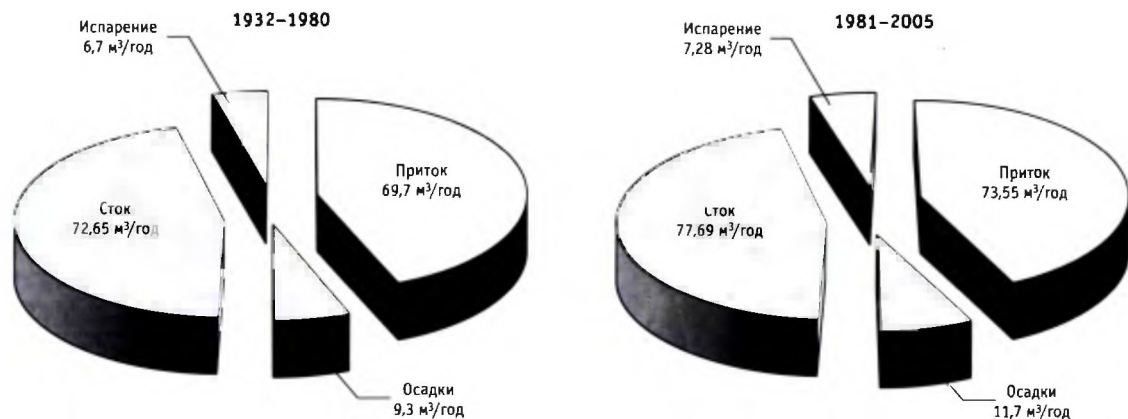


Рис. 6.12. Структура водного баланса Ладожского оз. за разные периоды

ках. Объем годового притока воды в озеро за последние 25 лет был близок к притоку за период наполнения Иркутского водохранилища, когда запасы воды в озере увеличивались на 10,6 км³/год. Приток воды с 1963 по 1980 г. в среднем был ниже наблюдавшегося в другие периоды из-за длительного маловодья 1971–1980 гг.

Для Ладожского озера последние 25 лет в среднем отличались повышенной водностью (рис. 6.12). Приток и испарение с акватории озера были, соответственно, на 8 и 9% выше, чем за предшествующий период.

Для других крупнейших озер Европейской территории России, а также оз. Ханка (табл. 6.5), в последние 25 лет в среднем наблюдается более высокая водность и рост испарения с акватории озер, которые, вероятно, связаны с современным глобальным потеплением климата.

Структура водного баланса озера Чаны, для поддержания уровня воды в котором в 1971 г. был отчленен Юдинский плес, в результате чего площадь зеркала озера сократилась на 667 км², рассматривается за два периода: 1971–1980 гг. и 1981–2000 гг. (см. табл. 6.5). При этом водный баланс озера за

Таблица 6.5

Среднегодовой водный баланс крупнейших озер России за различные периоды

Озеро	Период	Приток, км ³ /год	Осадки на акваторию, км ³ /год	Сток из озера, км ³ /год	Испарение с акватории, км ³ /год	Изменение объема воды, км ³ /год
Байкал	1901–1958	59,23	9,44	59,35	9,25	0,06
	1959–1962	68,5	10,6	56,6	11,9	10,6
	1963–1980	59,22	12,31	59,36	13,96	-1,79
	1981–2005	67,12	12,38	63,39	14,86	1,25
Ладожское	1932–1980	69,7	9,3	72,65	6,7	-0,35
	1981–2005	73,55	11,7	77,69	7,28	0,28
Онежское	1932–1951	14,51	5,17	16,34	3,11	-0,36
	1952–1980	16,46	5,52	18,4	3,43	0,15
	1981–2005	16,57	6,2	18,88	3,63	0,26
Таймыр	многолетний	13,8	1,3	14,2	0,9	0,00
Ханка	1949–1980	1,93	2,34	1,83	2,54	-0,06
	1981–2005	2,13	2,59	1,88	2,75	0,08
Чудско-Псковское	1953–1980	8,95	2,19	9,29	1,85	0
	1981–2005	11,79	2,4	12,59	1,6	0
Чаны	1971–1980	0,40	0,46	0,00	0,80	0,06
	1981–2000	0,38	0,48	0,00	0,80	0,06
Ильмень	1932–1980	16,17	0,67	16,31	0,48	0,05
	1981–2005	20	0,76	20,1	0,75	-0,04

Таблица 6.6

**Структура водного баланса крупнейших озер России
в последние десятилетия**

Озеро	Период	Приток, % от прихода	Осадки, % от прихода	Сток, % от рас- хода	Испаре- ние, % от расхода
Байкал	1981–2005	84,4	15,6	81	19
Ладожское	1981–2005	86,3	13,7	84	8,6
Онежское	1981–2005	72,8	27,2	83,9	16,1
Таймыр	многолетний	91,4	8,6	94	6
Ханка	1981–2005	45,1	54,9	40,6	59,4
Чудско- Псковское	1981–2005	83,1	16,9	88,7	11,3
Чаны	1981–2000	40	60	0	100
Ильмень	1981–2005	96,3	3,7	96,4	3,6

1983–2000 гг. принят по данным В. М. Савкина (Савкин и др., 2006). Соотношение между приходной и расходной частями водного баланса озера практически осталось неизменным в течение рассматриваемых периодов, что позволяет сделать вывод об оптимальности современных морфометрических характеристик озера.

Литература

- География озер Таймыра. — Л.: Наука, 1985. — 222 с.
Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза (справочные данные). — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 104 с.
 Ладожское озеро. Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. — Петрозаводск: Карельский научн. центр РАН, 2000. — 490 с.
 Новосибирское водохранилище и озера Средней Оби. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 291 с.
 Рекомендации по расчету водного баланса крупных озер и водохранилищ. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 102 с.
Савкин В. М., Орлов Г. А., Кондакова О. В. Современный водный баланс бессточного озера Чаны // География и природные ресурсы. — 2006. — № 1. — С. 123–131.
 Современные проблемы гидрометеорологии. — СПб.: Астерион, 2006. — 282 с.
Соколов А. А. Гидрография СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 536 с.

Глава 7

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

7.1. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕТЬ КОНТРОЛЯ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Возрастающее антропогенное воздействие на окружающую среду, в том числе на пресноводные экосистемы, привело к накоплению загрязняющих веществ не только в воде, но и в донных отложениях, к изменению состава гидробионтов и, как следствие этого, к значительному снижению самоочищающей (саморегулирующей) способности поверхностных вод. Увеличивающееся загрязнение окружающей среды явилось главной причиной организации в 1972 г. в системе Госкомгидромета СССР (с 1992 г. — Росгидромета) Государственной службы мониторинга окружающей природной среды, частью которой является мониторинг качества поверхностных вод суши. Под мониторингом окружающей среды (экологическим мониторингом) понимают комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, оценку и прогноз изменений ее состояния под воздействием природных и антропогенных факторов (Израэль и др., 1978; Израэль, 1984; Никаноров, 2005). В Российской Федерации создана нормативно-правовая база по вопросам охраны окружающей среды. Важнейшими в ней являются федеральные законы, определяющие правовые аспекты государственной политики в области охраны окружающей среды в целом и водной среды в частности и регулирующие отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности человека, связанной с воздействием на природную окружающую среду (ФЗ № 7 от 10.01.2002; № 45 от 09.05.2005; № 199 от 31.12.2005; № 74 от 03.06.2006).

Организация и осуществление государственного мониторинга водных объектов проводится Федеральным агентством водных ресурсов, Федеральным агентством по недропользованию, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования с участием органов исполнительной власти субъектов Федерации. Государственный мониторинг водных объектов является составной частью мониторинга окружающей среды, порядок организации и деятельности государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды и водных объектов определены постановлениями правительства Российской Федерации (Постановление правительства № 622 от 23.08.2000; № 177 от 31.03.2003). К числу других основных нормативных правовых актов в области использования и охраны водных ресурсов федерального уровня относятся (ФЗ № 94 от 01.05.1999; Постановление Правительства РФ № 370 от 22.07.2004; № 569 от 15.09.2005; № 736 от 05.12.2005; № 881, 883, 884 от 30.12.2006; Постановление Правительства РФ № 219 от 10.04.2007; № 55 от 24.07.2007). Государственный мониторинг водных объектов осуществляется в границах бассейновых округов с учетом особенностей режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностей. В соответствии с целями мониторинга поверхностных вод выделяются его виды: режимный, оперативный (при возникновении опасных ситуаций), специальный (наблюдения проводятся в воде и донных отложениях), мониторинг трансграничных поверхностных вод.

Ю. А. Израэлем (Израэль, 1984) была разработана концепция и научно обоснована специальная система наблюдения и контроля за уровнем загряз-



Рис. 1. Федеральные округа Российской Федерации



Рис. 2. Политико-административная карта Российской Федерации

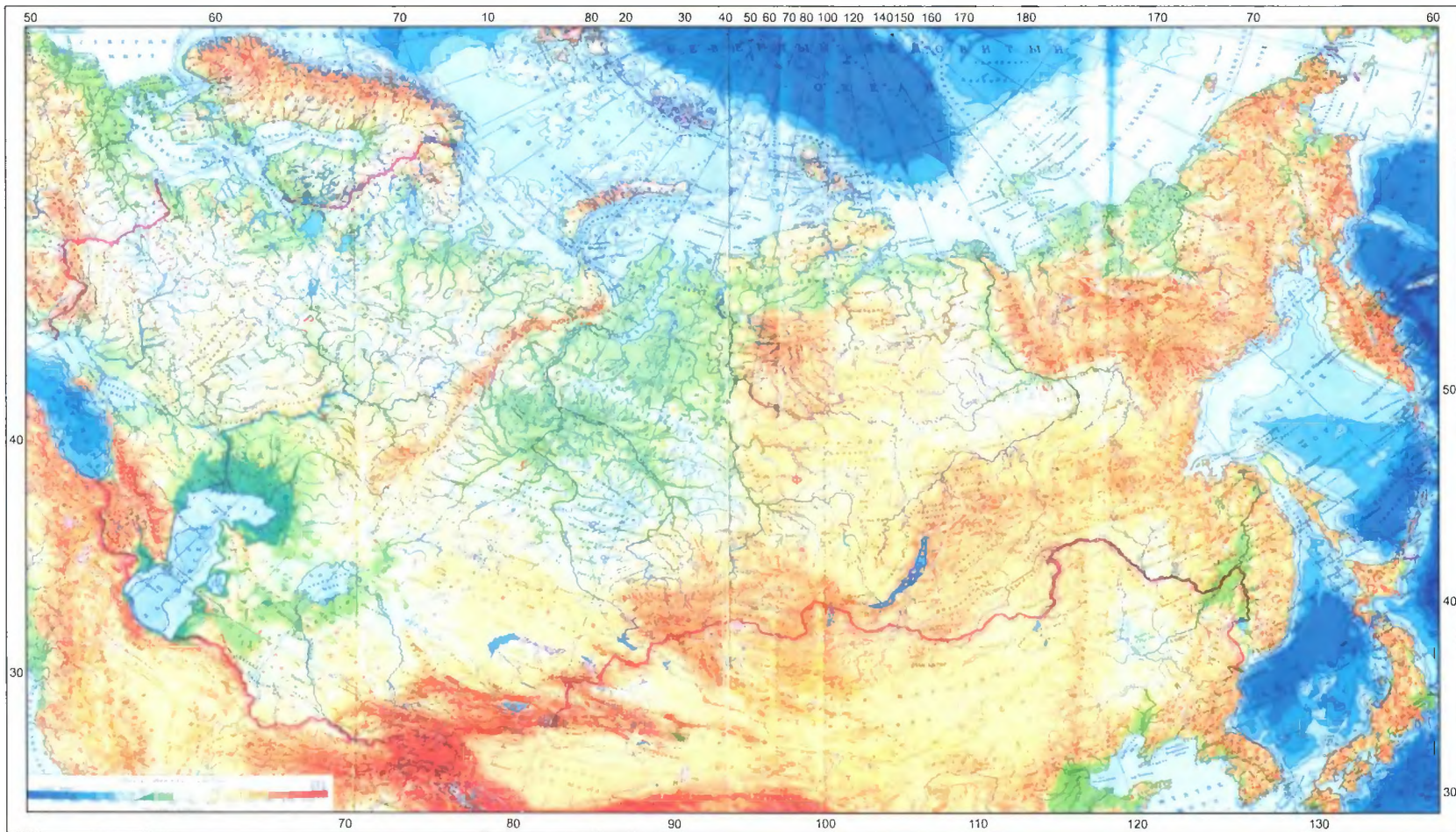


Рис. 3. Физико-географическая карта Российской Федерации и сопредельных государств

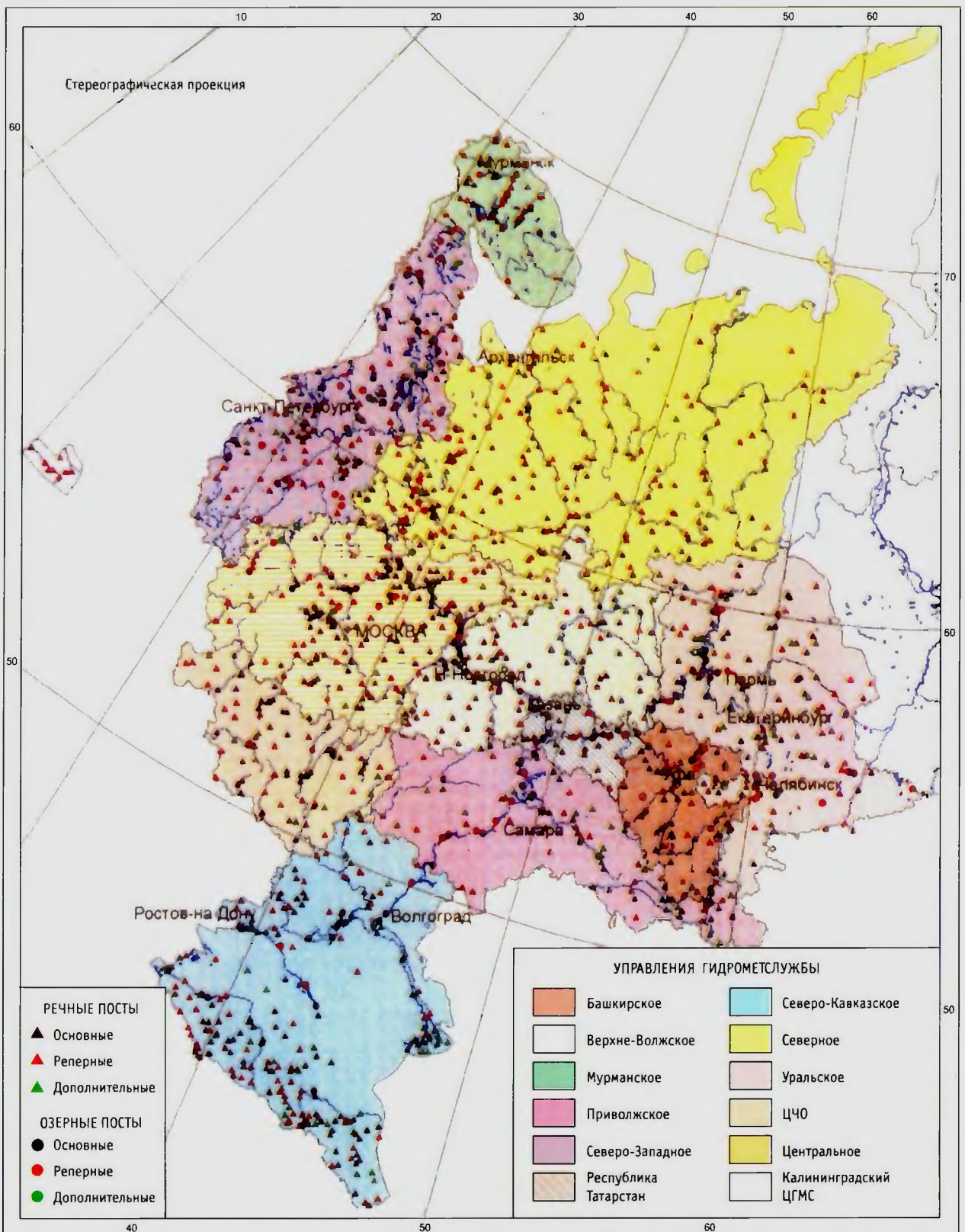


Рис. 4. Распределение гидрологических постов по УГМС на ЕТР



Рис. 5. Карта-схема аномалий зимнего стока рек (% от нормы) за период 1978–2005 гг.

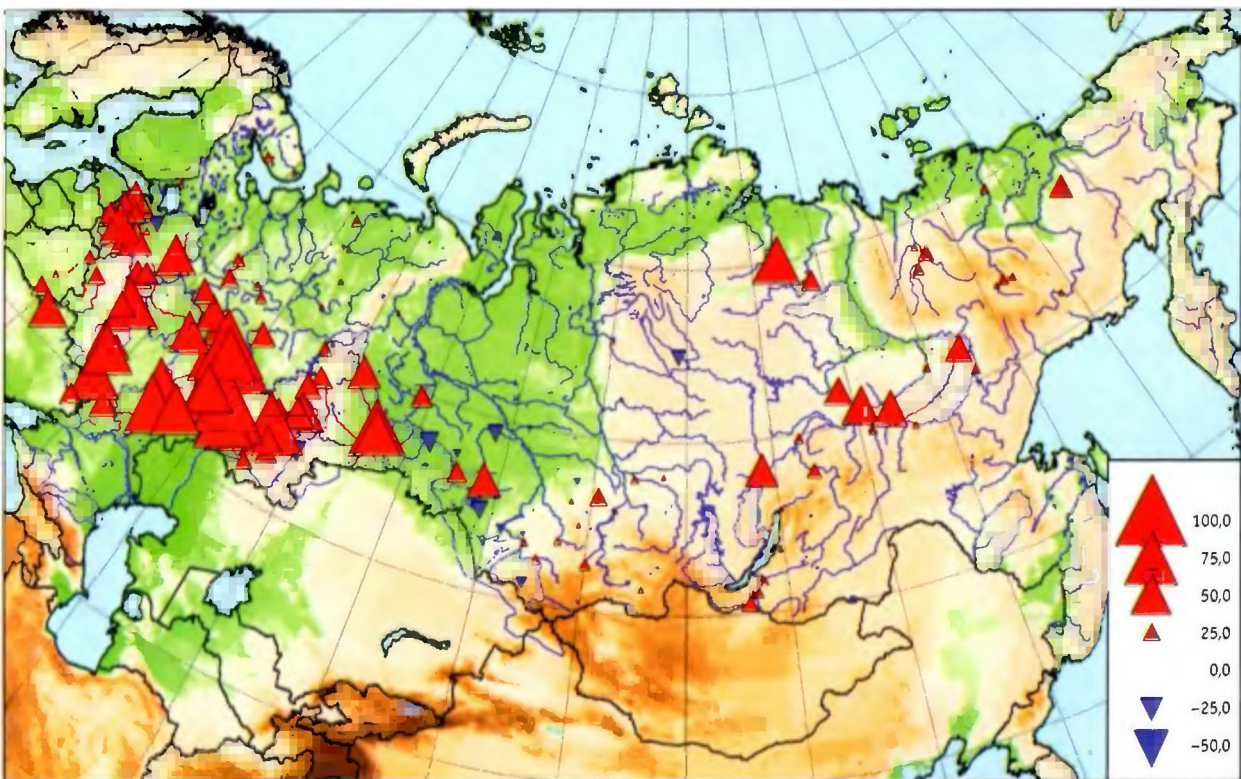


Рис. 6. Карта-схема аномалий летне-осеннего стока рек (% от нормы) за период 1978–2005 гг.

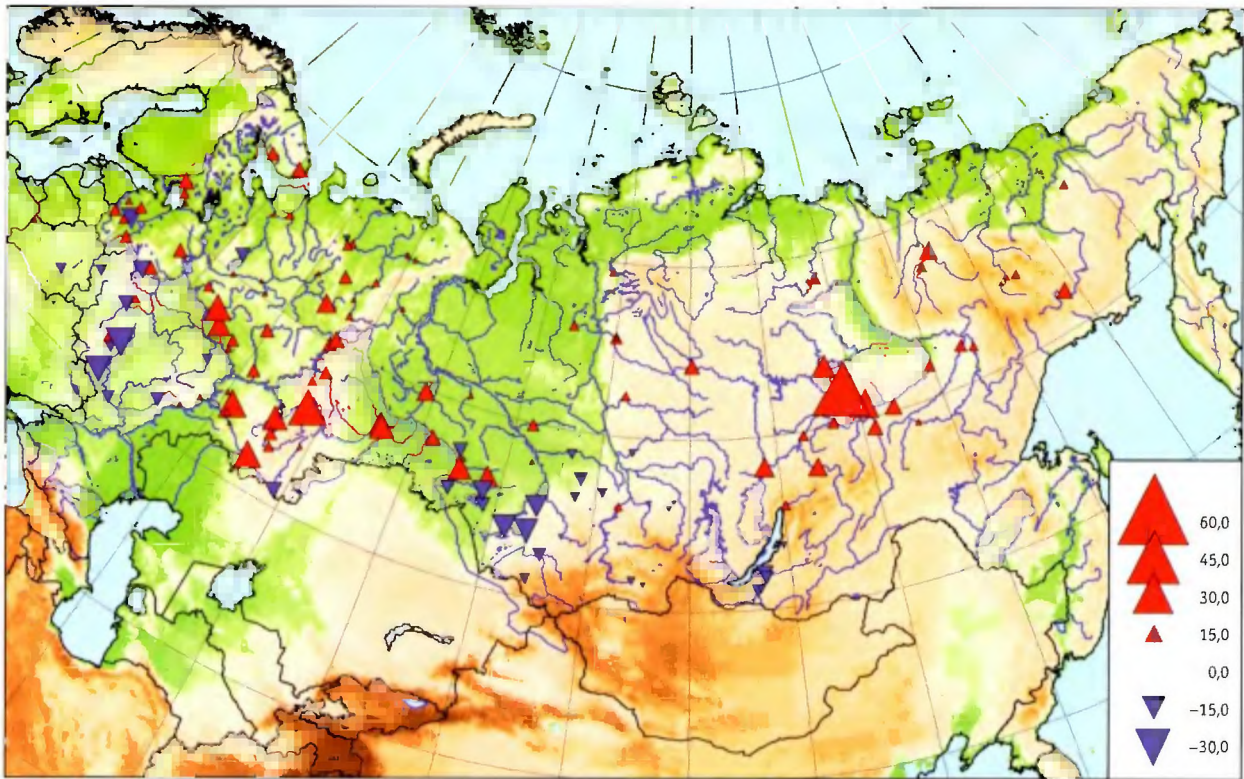


Рис. 7. Карта-схема аномалий весеннего стока рек (% от нормы) за период 1978–2005 гг.



Рис. 8. Карта-схема аномалий годового стока рек (% от нормы) за период 1978–2005 гг.



Рис. 9. Озера с площадью зеркала более 250 км²

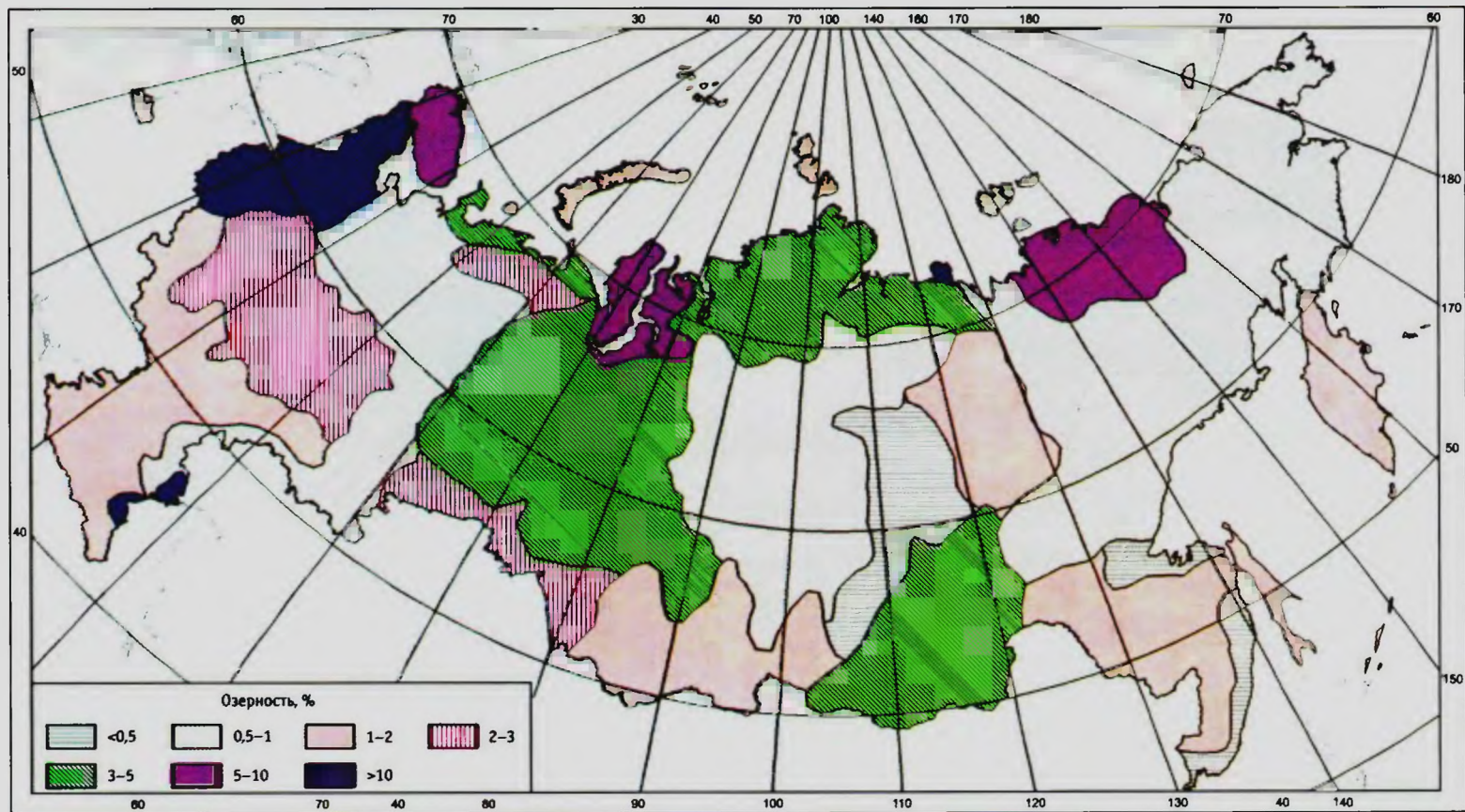


Рис. 10. Общая озерность территории Российской Федерации

нения природной среды, которую стали называть системой мониторинга антропогенных изменений состояния природной среды, получившая дальнейшее развитие на современном уровне в части мониторинга качества вод (см.: Никаноров, 2005).

Для сети Росгидромета основополагающими документами, регламентирующими организацию сети пунктов наблюдений на водных объектах РФ, являются: (ГОСТ 17.1.3.07–82, 1986; МУ., 1984; РД 52.24.30–92, 1992; Положение о порядке организации... 2000; Р 52.24.309–2004).

Процесс мониторинга представляет собой последовательность взаимосвязанных операций от определения информационных потребностей до использования информации потребителями, поддержки принятия управляющих решений. Все эти процедуры составляют цикл мониторинга поверхностных вод, представленного на рис. 7.1 (Никаноров, 2005). Являясь многоцелевой информационной системой, мониторинг поверхностных вод решает основные задачи: наблюдение за состоянием качества поверхностных вод, оценка динамики и долговременных тенденций изменения качества поверхностных вод (прогноз, определение степени антропогенного воздействия на поверхностные воды, а также определение факторов антропоген-

ного воздействия, выявление этих факторов и источников загрязнения).

Основная цель работы службы наблюдений и контроля за уровнем загрязнения поверхностных вод — получение информации о качестве воды, необходимой для осуществления мероприятий как по охране вод, так и по рациональному использованию водных ресурсов Российской Федерации.

В связи с этим служба решает следующие основные задачи:

- наблюдение и контроль за уровнем загрязнения вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям;

- изучение динамики загрязняющих веществ и выявление условий, при которых происходят резкие колебания уровня загрязненности, для обеспечения прогнозов загрязненности водных объектов;

- изучение закономерностей процессов самоочищения и накопления загрязняющих веществ в донных отложениях;

- изучение закономерностей выноса веществ через устьевые створы рек для определения баланса этих веществ в водоемах;

- обеспечение органов государственной власти РФ, государственной власти субъектов РФ, местного самоуправления, государственного санитар-



Рис. 7.1. Цикл мониторинга поверхностных вод

Изменения состава сети пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши Российской Федерации за период 1991–2005 гг.

Годы	Пункты	Створы	Вертикали	Горизонты	Водные объекты	Отобрано проб воды	Сделано определений
1991	3295	4566	5009	5803	2263	55 158	851 788
1992	1903	2625	2919	3357	1332	29 717	777 091
1993	1892	2604	2907	3372	1326	29 872	783 851
1994	1891	2601	2905	3354	1326	27 826	716 053
1995	1928	2617	2958	3407	1363	27 633	707 883
1996	1931	2618	2946	3392	1343	24 537	621 101
1997	1788	2454	2742	3119	1182	22 583	560 774
1998	1699	2342	2692	2342	1166	22 012	531 861
1999	1737	2417	2698	3060	1145	23 047	535 567
2000	1826	2496	2830	3266	1195	23 652	582 618
2001	1819	2494	2830	3262	1189	24 390	608 578
2002	1814	2486	2822	3256	1186	24 762	607 582
2003	1810	2482	2818	3252	1182	25 285	636 472
2004	1812	2486	2822	3257	1179	25 246	640 964
2005	1815	2489	2826	3260	1187	25 246	637 761

ного эпидемиологического надзора РФ, специально уполномоченных государственных органов охраны окружающей природной среды, заинтересованных организаций и населения текущей экстренной или прогностической информацией о состоянии поверхностных вод;

— представление необходимой информации о состоянии природной среды в Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнений, иные фонды и банки.

В табл. 7.1 представлено изменение состава сети пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши Российской Федерации за период 1991–2005 гг. Уменьшение пунктов, створов наблюдений, а также обнаружение загрязняющих веществ в поверхностных водах обусловлено значительным сокращением финансирования в течение 1991–1999 гг. Начиная с 2000 г. состав сети пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод России практически стабилизировался, наблюдается незначительный рост определений загрязняющих веществ в воде.

Наблюдения проводят по физическим, химическим и биологическим показателям с одновременным определением гидрологических характеристик. Гидробиологические показатели определяют не во всех пунктах и не на всех водных объектах, а лишь в их части.

Для обеспечения оптимальной информацией о качестве воды, для оценки изменения уровня загрязненности и для оценки эффективности мероприятий по охране окружающей среды все пункты стационарной сети наблюдений в системе Росгидромета подразделяются на четыре категории. Категория пункта определяет компонентные и временные параметры.

С учетом гидрометеорологических и морфометрических особенностей водного объекта, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сточных вод, интересов водопользователей в пунктах устанавливают один или несколько створов, на которых располагаются одна или несколько вертикалей в зависимости от условий смешения природных вод со сточными или водой притоков: при неоднородности химического состава в створе устанавливают не менее трех вертикалей; при однородности — одну.

Программа работ в зависимости от категории пунктов различается не только по объему наблюдаемых показателей, но и по срокам наблюдений.

На пунктах 1-й категории наблюдения производятся ежедневно по сокращенной программе и ежедневно по полной программе; на пунктах 2-й категории ежедневно производятся только визуальные наблюдения, а наблюдения по полной программе — ежемесячно; на пунктах 3-й категории — ежемесячные наблюдения по сокращенной программе, а по полной программе — в основные гидрологические фазы, как и на пунктах 4-й категории.

Наряду с обязательной программой наблюдений для пунктов 1–3-й категорий устанавливается перечень подлежащих наблюдениям веществ, являющихся специфическими для данного водного объекта или его участка. Определение этих специфических веществ — непростая задача, требующая знания состава сточных вод как непосредственно в данном районе, так и выше по течению. Необходимо также учитывать полный состав сбрасываемых веществ во всем водном бассейне, степень и характер очистки сточных вод. Окончательный состав наблюдаемых веществ устанавливается на основании непосредственных наблюдений и анализа поверхностных вод в данном пункте сети контроля.

В основу организации и проведения наблюдений за состоянием поверхностных вод заложены основные принципы: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения в характерные гидрологические фазы, опреде-

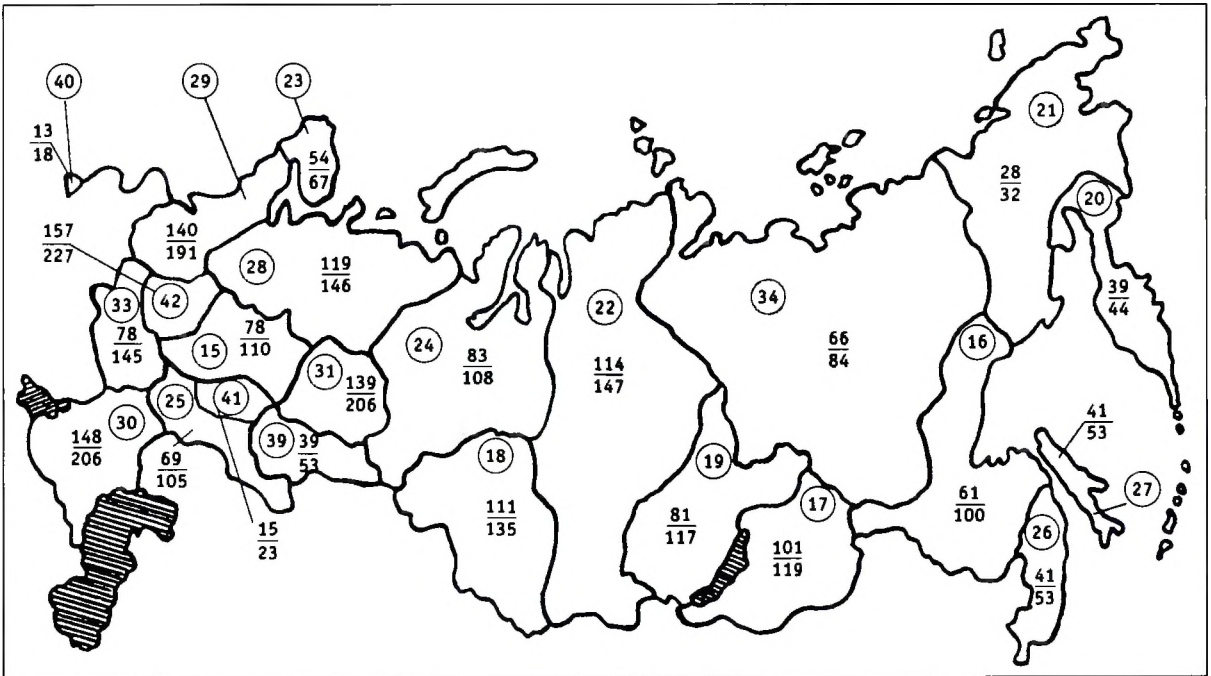


Рис. 7.2. Количество пунктов (числитель) и створов (знаменатель) в системе ГСН по отдельным УГМС Росгидромета в 2005 г. (их номера — числа в кружках):

УГМС: 15 — Верхне-Волжское; 16 — Дальневосточное; 17 — Забайкальское; 18 — Западно-Сибирское; 19 — Иркутское; 20 — Камчатское; 21 — Колымское; 22 — Среднесибирское; 23 — Мурманское; 24 — Обь-Иртышское; 25 — Приволжское; 26 — Приморское; 27 — Сахалинское; 28 — Северное; 29 — Северо-Западное; 30 — Северо-Кавказское; 31 — Уральское; 33 — ЦЧО; 34 — Якутское; 39 — Башкирское; 40 — Калининградский ЦГМС; 41 — Республика Татарстан; 42 — Центральное УГМС

ление состава и свойств воды едиными или сопоставимыми методиками.

Основная наблюдательная сеть в любом регионе представляет минимально необходимую с точки зрения научной, хозяйственной и экономической целесообразности сеть, которая предназначена для изучения региона и состояния поверхностных вод.

На рис. 7.2 показана действующая сеть пунктов (створов) наблюдений на водных объектах, расположенных на территориях отдельных УГМС в системе Росгидромета.

7.2. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ И АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГИОНОВ

Оценка качества поверхностных вод Российской Федерации составлена по материалам наблюдений за загрязненностью воды водоемов и водотоков,

выполненных в течение 1991—2005 гг. сетевыми подразделениями Росгидромета. Для сравнения были использованы более жесткие предельно допустимые концентрации вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов и водотоков (Перечень, 1999).

При оценке уровня загрязненности воды на пунктах, участках отдельных водоемов и водотоков, рек и водохранилищ в целом, бассейнов рек было проведено сравнение степени загрязненности в 1991 г. и в 2005 г.

Оценка качества поверхностных вод Российской Федерации проведена главным образом по результатам определения в воде содержания веществ, присутствие которых было обусловлено поступлением в водные объекты преобладающих загрязнений отдельных видов сточных вод. В большинстве случаев анализ проб воды осуществлялся по единым методикам, разработанным или апробированным в Гидрохимическом институте.

Оценка качества воды речных бассейнов дана для крупных пунктов наблюдений, участков отдель-

ных водотоков и водоемов, рек и водохранилищ в целом, по обеспеченным концентрациям с вероятностью 95%. Кроме того, рассмотрено состояние поверхностных вод в целом по стране также по обеспеченным (95%) концентрациям.

При описании качества поверхностных вод на пунктах с небольшим числом результатов анализа использованы предельные и среднегодовые величины концентраций характерных загрязняющих веществ. Для характеристики содержания и изменения в воде легкоокисляемых и трудноокисляемых органических веществ использованы величины БПК₅ воды и ХПК соответственно.

При оценке динамики загрязняющих веществ в воде водоемов или водотоков в целом, бассейнов рек использованы вероятностные концентрации. В дополнение к экстремальным величинам введены величины, обладающие вероятностью $P=5\%$: X_{05} — оценка минимальной концентрации, X_{95} — оценка максимальной концентрации.

Анализ и обобщение аналитического материала по химическому составу поверхностных вод страны проведен с использованием как дифференцированного поингредиентного, так и комплексного подхода. Обработка гидрохимических данных проведена по разработанной в ГХИ методике комплексной оценки качества воды (РД 52.24.643–2002) Методические указания «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям».

Конструктивной особенностью метода является совокупность проводимого на первой стадии детального поэлементного анализа химического состава воды и его режима с последующей интеграцией полученных при этом оценочных составляющих на второй стадии для одновременного учета комплекса наблюдаемых ингредиентов и показателей качества воды. Метод расчета комплексных показателей формализует процесс анализа, обобщения, оценки аналитической информации о химическом составе воды и трансформирует ее в относительные показатели, комплексно оценивающие степень загрязненности и качество воды водных объектов. Принципиальную основу метода составляет сочетание дифференцированного и комплексного способов оценки качества воды. Методической основой комплексного способа является однозначная скалярная оценка степени загрязненности воды водного объекта по совокупности загрязняющих веществ.

В результате расчетов по данному методу получают систему комплексной оценки загрязненности

поверхностных вод по гидрохимическим показателям, состоящую из набора 17–18 формализованных показателей комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод. Каждый из показателей несет определенную смысловую оценочную нагрузку по качеству воды, может использоваться в отдельности или в различных сочетаниях, дополняя друг друга, либо всей системой в целом.

Используя данный метод, проведена классификация степени загрязненности воды — условное разделение всего диапазона состава и свойств природной воды в условиях антропогенного воздействия на различные интервалы с постепенным переходом от «условно чистой» до «экстремально грязной»:

- 1-й класс — условно чистая;
- 2-й класс — слабо загрязненная;
- 3-й класс:
 - разряд а) — загрязненная;
 - разряд б) — очень загрязненная;
- 4-й класс:
 - разряд а) — грязная;
 - разряд б) — грязная;
 - разряд в) — очень грязная;
 - разряд г) — очень грязная;
- 5-й класс — экстремально грязная.

Многолетние тенденции изменения концентрации загрязняющих веществ проанализированы с привлечением непараметрических статистик методами для монотонного тренда Кендалла и Леттенмайера–Спирмана, для ступенчатого тренда — Манна–Уитни.

7.3 ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕГИОНОВ И РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Поверхностные воды Карелии и Северо-Запада

Основными факторами, определяющими гидрохимический режим территории и химическое качество поверхностных вод, являются климатические условия, геологическое и геоморфологическое строение территории, характер почв и растительного покрова.

По характеру геологического и геоморфологического строения территория района разделяется

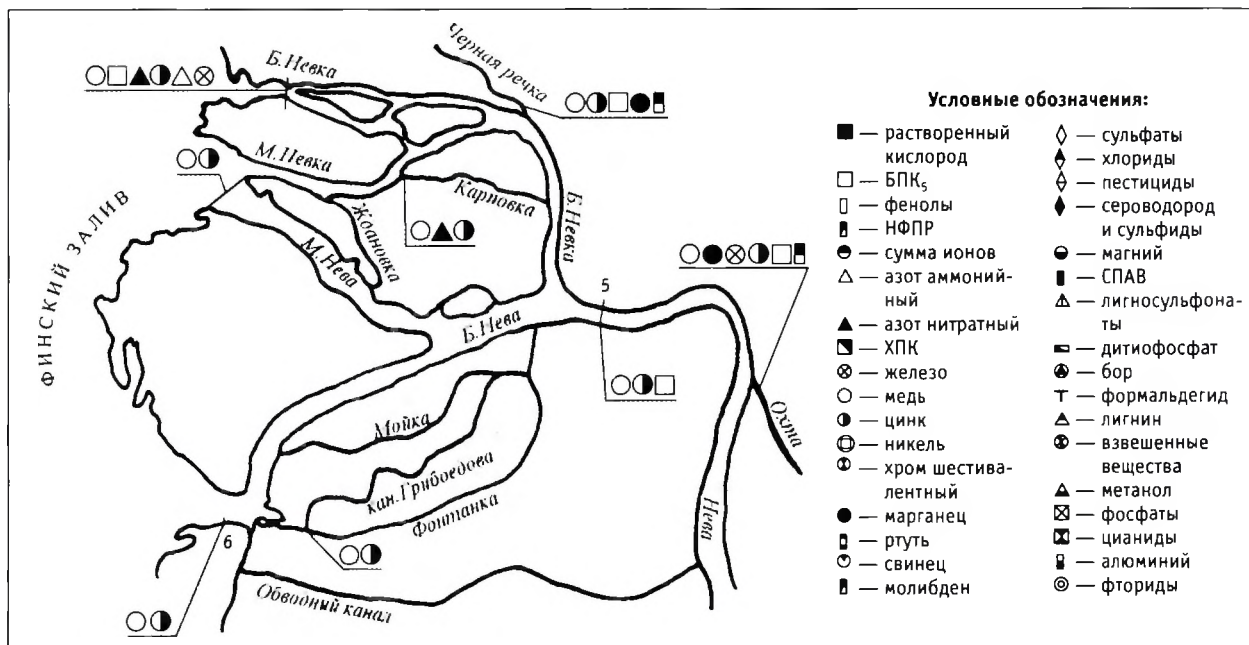


Рис. 7.3. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде рек в районе г. Санкт-Петербург в течение 1991–2005 гг.

Таблица к рис. 7.3

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Охта				р. Карповка			
Cu	6–10	4–6	6–8	Cu	2–15	<1–6	5–14
Mn	2–10	1–6	3–12	N-NO ₂	3–8	<1–5	1–3
Fe	2–6	<1–6	2–6	Zn	—	—	2–5
Zn	—	—	2–5	р. Черная Речка			
БПК ₅ (O ₂), мг/л	3,80–7,80	3,0–7,30	2,83–4,00	Cu	4–9	3–8	5–9
НПР	1–6	1–2	<1–2	Zn	—	—	2–5
р. Нева, 0,1 км выше Литейного моста (створ 5)				БПК ₅ (O ₂), мг/л	2,40–3,60	2,60–3,40	2,90–4,32
Cu	4–5	4–7	6–8	Mn	<1–2	<1–1	<1–2
Zn	—	— ... 4	2–4	НПР	<1–2	<1–8	<1–2
БПК ₅ (O ₂), мг/л	0,90–1,30	1,30–1,90	1,11–1,95	р. Фонтанка			
р. Нева, 1,4 км выше устья (створ 6)				Cu	5–7	3–6	4–9
Cu	4–5	3–6	5–7	Zn	—	—	1,5–6
Zn	—	—	2–4	рукав Малая Нева			
рукав Большая Нева				Cu	4–5	2–5	5–10
Cu	4–6	3–7	6–8	Zn	—	—	2–3
БПК ₅ (O ₂), мг/л	3,20–3,90	3,00–3,90	2,95–5,73				
N-NO ₂	<1–4	<1–4	2–3				
Zn	—	—	2–4				
N-NH ₄	<1–1,5	<1–1,5	<1–2				
Fe	<1–<1	<1–<1	<1–2				

на две области: Карелию и Северо-Запад. Карелия характеризуется ледниковыми, холмисто-грядовыми формами рельефа, перемежающимися с межгрядовыми пониженными задровыми полями и заболоченными территориями. Карелия является частью Балтийского кристаллического щита, почти повсеместны выходы на дневную поверхность древнейших кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса. Территория Северо-Запада почти целиком расположена в пределах Русской платформы и, в отличие от Карелии, сложена, в основном, осадочными породами палеозойского комплекса. Характеризуется плоско-равнинным или полого-холмистым рельефом, здесь распространены озы, камы, друмлины.

Бассейн р. Нева

Река **Нева** — главная водная артерия района, значительная часть которой расположена в Карелии. Химический состав воды р. Невы, вытекающей из Ладожского оз., всецело определяется составом воды озера. В устье русло р. Нева разветвляется на многочисленные рукава и протоки, образуя дельту площадью около 45 км²; речная сеть состоит из 65 естественных водотоков и каналов. Вода дельты оценивается 3-м классом качества разрядами «а» и «б» («загрязненная» и «очень загрязненная») и 4-м классом как «грязная» — вода рукава **Б. Невка**, и характеризуется средним уровнем загрязненности. Характерными загрязняющими веществами являются: легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), соединения меди, цинка; критическими: легкоокисляемые органические вещества, нитритный азот, среднегодовые концентрации которых составляли в последние годы в воде большинства рек 2–14 ПДК (рис. 7.3). Для бассейна р. Нева характерна загрязненность воды с повторяемостью превышения ПДК 50–100% соединениями меди, цинка, 30–100% — соединениями железа, 40–60% — соединениями марганца, 50–90% — легкоокисляемыми органическими веществами в среднем на уровне: 3–14, 2–5, 1–6, 2–12, 1–2 ПДК; максимальные концентрации составляли: 20–24, 4–10, 2–10, 6–27, 2–4 ПДК соответственно.

Бассейн Ладожского озера

Распределение загрязняющих веществ на территории Карелии и Северо-Запада РФ показано на рис. 7.4 По комплексной оценке вода большинства

рек бассейна Ладожского озера характеризуется 3 классом качества разрядов «а» и «б», как «загрязненная» и «очень загрязненная» (рис. 7.5). Вода некоторых рек (р. Юуван-Йоки, р. Неглинка, оз. Суоярви) характеризуется как «слабокислая», в отдельные периоды года минимальная величина рН незначительно превышала 4,00. Для рек Волхов-Ильменского бассейна (реки Волхов, Мста, Пола, Ловать, Полисть, Шелонь и др.), берущих начало из водораздельных болот, характерно высокое содержание трудноокисляемых органических веществ (по ХПК).

Центральное положение на территории Северо-Запада занимает самое большое озеро ледникового происхождения — оз. Ильмень. Вода озера и ряда его притоков характеризуется 3-м классом качества, разрядов «а» и «б», как «загрязненная» и «очень загрязненная» (рис. 7.5).

Поверхностные воды Калининградской области

Река **Неман** — одна из крупнейших рек Балтийского побережья. Гидрографическая сеть в бассейне развита довольно хорошо, и густота ее в среднем составляет 0,4 км/км². Существенное влияние на гидрохимический режим реки оказывали сточные воды предприятий целлюлозно-бумажной промышленности: ОАО «Советский целлюлозно-бумажный завод», ОАО «Неманский целлюлозно-бумажный комбинат», а также ПУ «Водоканал» г. Советск и МУП КХ г. Неман. В целом для воды реки характерными загрязняющими веществами были легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), аммонийный азот, соединения ртути со среднегодовыми концентрациями 1,2–5,4 ПДК, лигносульфонаты — 8–10 ПДК. Максимальные концентрации соединений ртути 9 ПДК наблюдали в 2005 г. в воде р. Неман, рукава Матросовка, д. Мостовое; лигносульфонатов — 18 ПДК в воде р. Неман, 1,5 км ниже г. Советск.

Река **Преголя** с ее многочисленными притоками — основная водная система Калининградской области. Общая площадь водосбора составляет 14,3 тыс. км². Река пересекает практически всю территорию области и находится под воздействием различных форм антропогенной деятельности, в результате которой изменена ее гидрографическая сеть и гидрохимический режим. Вода р. Преголя по качеству в целом оценивается 4-м классом разряда «б»,

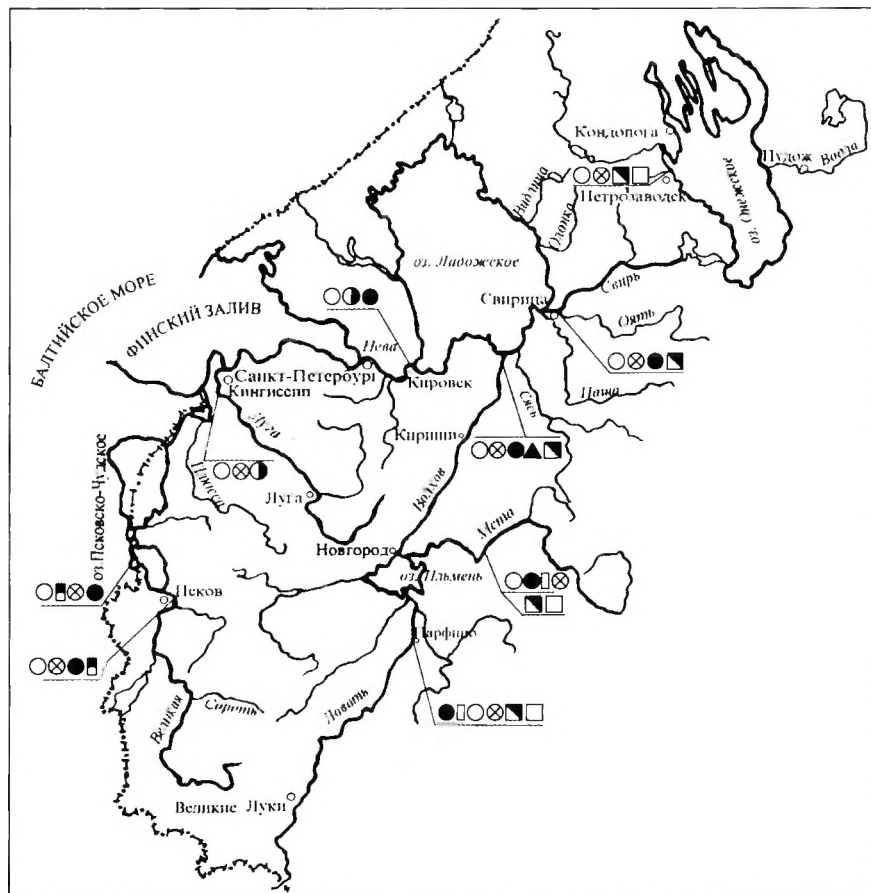


Рис. 7.4. Распределение загрязняющих веществ в воде водных объектов на территории Карелии и Северо-Запада в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.4

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Лососинка, г. Петрозаводск				р. Ловать, пгт Парфино			
Cu	2-не опр.	2–7	2–4	Mn	<1–3	— ... 4	2–8
Fe	5–6	6–8	5–8	Фенолы	—	— ... 4	2–4
ХПК, мг/л	—	—	39,0–44,0	Cu	3–7	— ... 4	2–9
БПК ₅ (O ₂), мг/л	2,00–3,3	2,49–3,40	2,05–5,02	Fe	2–8	— ... 7	2–5
р. Нева, г. Кировск				ХПК, мг/л	—	— ... 49,0	34,0–53,0
Cu	3–5	3–7	6–8	БПК ₅ (O ₂), мг/л	1,40–1,50	— ... 1,50	2,10–3,22
Zn	—	<1–3	2–4	р. Луга, г. Кингисепп			
Mn	1–3	<1–2	1,5–3	Cu	4–6	4–5	4–11
р. Свирь, пгт Свирица				Fe	<1–3	<1–5	2–7
Cu	2–5	3–6	4–13	Zn	—	—	2–5
Fe	1–3	<1–10	3–7				
Mn	<1–5	<1–5	<1–3				
ХПК, мг/л	—	44,0–45,0	32,0–42,0				

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Волхов, г. Новая Ладога				р. Великая, г. Псков			
Cu	4–5	4–6	5–10	Cu	4–7	4–6	4–9
Fe	<1–3	<1–7	2–7	Fe	<1–<1	<1–4	2–5
Mn	1–4	2–4	2–5	Mn	4–8	3–6	2–4
N-NO ₂	<1–<1	<1–2	<1–3	НФПР	4–6	<1–3	<1–2
ХПК, мг/л	—	48,0–50,0	35,0–48,0	оз. Чудско-Псковское			
р. Мста, д. Девкино				Cu	6–7	5–5	3–5
Cu	3–4	— ... 5	3–8	НФПР	2–5	<1–2	1–2
Mn	4–6	— ... 3	3–6	Fe	<1–<1	<1–2	<1–2
Фенолы	—	— ... 2	<1–4	Mn	6–10	3–7	<1–2
Fe	3–5	— ... 7	2–8				
БПК ₅ (O ₂), мг/л	2,20–3,90	— ... 1,10	2,00–3,00				

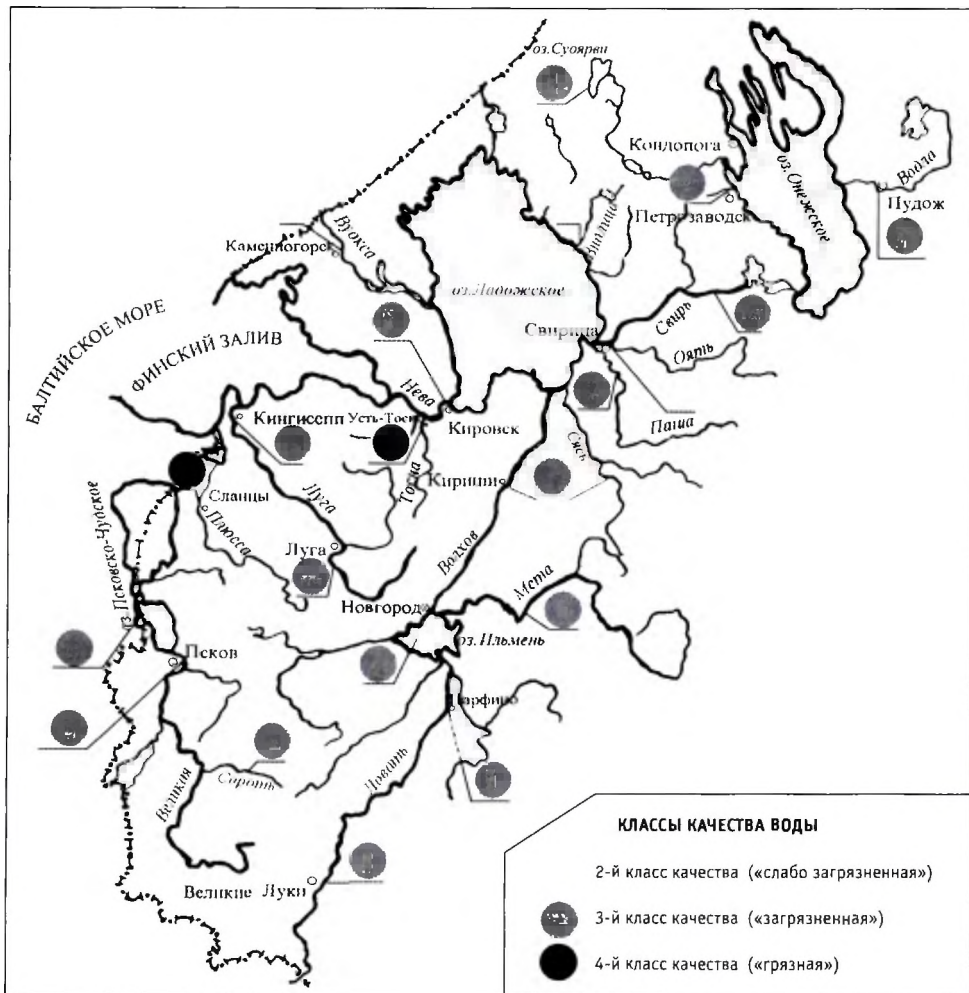


Рис. 7.5. Оценка качества поверхностных вод Карелии и Северо-Запада по комплексным показателям в 2005 г.

как «грязная», участок реки в самом нижнем течении находится в промышленной зоне Калининграда и подвержен сильному антропогенному загрязнению, т. к. Калининград не имеет объединенных очистных сооружений: коммунально-бытовые и промышленные стоки поступают в водоток недостаточно очищенными или совсем без очистки. Вода на этом участке оценивается 4-м классом качества разряда «в» как «очень грязная». В качестве критических загрязняющих показателей выделялись легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅) и растворенный в воде кислород, минимальная концентрация которого составляла 0,60 мг/л. Высокие концентрации аммонийного и нитритного азота, сульфатов и хлоридов (среднегодовые — 2–3 ПДК, максимальные 7–14 ПДК) объясняются влиянием морских вод Вислинского залива. Наибольшая концентрация лигносульфонатов составляла в 2005 г. 47 ПДК, среднегодовая — 15 ПДК.

Реки севера европейской части России

Бассейн р. Онега

Реки севера европейской части России на территории Архангельской, Вологодской (кроме бассейна р. Волга) областей и республики Коми загрязняются преимущественно сточными водами предприятий лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, РАО «ЕЭС России», жилищно-коммунального, сельского хозяйства и др.

Качество воды Онеги в большинстве створов и определяется 3-м классом разряда «а» (выше г. Каргополь, выше с. Порог) и разряда «б» (ниже г. Каргополь, ниже д. Череповская). В воде реки ниже д. Череповская и ниже п. Североонежск содержание аммонийного азота в отдельные годы увеличивалось до критического уровня в результате попадания неочищенных сточных вод, а также с водой р. Волошка, максимальные концентрации при этом достигали 11–16 ПДК. На протяжении всей реки характерными загрязняющими веществами являются соединения меди, железа, цинка, что обусловлено природными условиями. Повторяемость случаев превышения ПДК составляет 73–100%, среднегодовые концентрации за период 1990–2005 гг. колебались в пределах: соединений железа и цинка — 3–5 ПДК, соединений меди — 2–5 ПДК. Вода

р. Онега во все гидрологические фазы относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция и характеризуется малой и средней минерализацией, значения которой изменялись от 60,4 до 424 мг/л. Трудноокисляемые органические вещества (по ХПК) превышали ПДК в среднем в 3–4 раза.

Бассейн р. Северная Двина

Поверхностные воды бассейна Северной Двины загрязняются в основном сточными водами предприятий лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, РАО «ЕЭС России», жилищно-коммунального, сельского хозяйства и льяльными водами судов речного флота.

В верховье реки загрязняющие вещества поступают со сточными водами предприятий городов Великий Устюг, Красавино, Котлас, льяльными водами судов речного флота и водами притоков — р. Сухона и р. Вычегда. Основными источниками загрязнения устьевого участка р. Северная Двина (г. Новодвинск — г. Архангельск) являются сточные воды предприятий целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. В среднем течении реки (д. Телегово — д. Звоз) до замыкающего створа с. Усть-Пинега крупных источников загрязнения нет, загрязняющие вещества попадают в основном с водами притоков — р. Вага, р. Емца, р. Пинега и др. Характерными загрязняющими веществами р. Северная Двина являются: трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), соединения железа, меди, цинка; в среднем течении к ним добавляются легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅) и лигносульфонаты; в замыкающем створе (с. Усть-Пинега) и в нижнем течении — фенолы, лигносульфонаты, повторяемость случаев превышения ПДК которыми, включая 1990–2005 гг., колебалась в пределах 72–100%, 68–100%, 52–100%, 77–100%; 73–100% и 75–100%; 74–92%, 67–87% соответственно.

Качество воды на всем протяжении Северной Двины характеризуется 3-м классом разряда «б», в районе г. Красавино, в черте д. Телегово и д. Абрамково — 4-м классом разряда «а» и оценивается как «очень загрязненная» и «грязная» соответственно. Дельта реки характеризуется 3-м классом качества разряда «а» (прот. Кузнечиха в черте г. Архангельск) и разряда «б» (рук. Никольский, Корабельный и Мурманский) и 4-м классом разряда «а» (прот. Маймакса в черте г. Архангельск и устье прот.

Кузнечиха). Характерными загрязняющими веществами воды дельты р. Северная Двина являются трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), соединения железа, меди, цинка, лигносульфонаты, в прот. Маймакса и Кузнечиха к ним добавлялись фенолы. В дельте р. Северная Двина в весенне-летне-осенние периоды на фоне низкой водности наблюдались случаи нагонных явлений, сопровождавшиеся проникновением морских вод в дельту реки. При этом минерализация воды достигала 11,3–15,7 г/л, увеличивалась концентрация хлоридов до 3,50–9,10 г/л, ионов натрия 1,25–4,70 г/л, сульфатов 1,00–1,50 г/л и ионов магния 0,40–0,80 г/л.

Одним из крупных притоков р. Северная Двина является **река Сухона**, на гидрохимическое состояние которой в верхнем и среднем течении (г. Сокол — г. Тотьма) оказывали негативное влияние сточные воды предприятий г. Сокол (ОАО «Сухонский ЦБЗ», ОАО «Солдек», Сухонский молочно-консервный комбинат), загрязненные воды р. Вологда, принимающей сточные воды предприятий г. Вологда, и р. Пельшма, недостаточно очищенные сточные воды объединенных очистных сооружений г. Сокол и ОАО «Сокольский ЦБК». В устье реки загрязняющие вещества поступали, в основном, со сточными водами промышленных предприятий и МП «Водоканал» г. Великий Устюг. Загрязненность воды р. Сухона возрастает вниз по течению, качество воды характеризуется 3-м классом разряда «б». К характерным загрязняющим веществам относятся трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), соединения железа, меди, в большинстве створов к ним добавляются легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), на участке район впадения р. Пельшма — г. Великий Устюг — лигносульфонаты, в нижнем течении — соединения цинка.

Река Пельшма в районе г. Сокол является районном хронического экстремально высокого загрязнения в связи с установившимся режимом сброса недостаточно очищенных сточных вод ОАО «Сокольский ЦБК» и объединенных очистных сооружений г. Сокол. К критическим показателям загрязненности воды реки относятся легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), фенолы, лигносульфонаты, метанол, аммонийный азот, периодически регистрируется острый дефицит растворенного в воде кислорода. Река характеризуется как «экстремально грязная» (5-й класс качества).

Бассейн р. Печора

Река Печора является одной из самых крупных рек европейского Севера России. Формирование химического состава воды Печоры происходит в различных геоморфологических условиях при определенной накладке антропогенных факторов. На химический состав воды р. Печора влияют загрязненные воды притоков (рек Уса, Колва, Ижма), где сосредоточены предприятия нефтеперерабатывающей, нефтедобывающей и угледобывающей отраслей, а также сточные воды УМП «Печораводоканал», Печорского лесозавода (г. Нарьян-Мар) и др.

Качество воды реки по течению неоднородно, треть створов, относящихся к верхнему течению, характеризуется 2-м классом качества («слабо загрязненная» вода), наиболее загрязнен дельтовый участок реки, где вода оценивается как «очень загрязненная» (3-й класс качества, разряд «б»).

Бассейн р. Дон

Распределение в воде р. Дон от г. Донской (верховье) до г. Азов (устье и р. Северский Донец) загрязняющих веществ, среднегодовые концентрации которых превышали ПДК, представлено на рис. 7.6.

Для большинства контрольных створов верхнего течения р. Дон характерна загрязненность воды соединениями железа, в отдельных створах к ним добавляются соединения меди, нефтепродукты, нитритный и аммонийный азот, сульфаты, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), повторяемость случаев превышения ПДК по которым колебалась в пределах 50–100%. Для среднего течения р. Дон характерна загрязненность воды легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), соединениями меди с повторяемостью случаев превышения ПДК 60–100%. В нижнем течении реки (на участке г. Ростов-на-Дону — г. Азов) к характерным загрязняющим веществам относятся легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), сульфаты, соединения меди и нефтепродукты, повторяемость случаев превышения ПДК которыми составляет 90–100%.

Наиболее загрязнена р. Дон в верховье у г. Донской, находящемся под влиянием сточных вод Новомосковского горводоканала. Вода на этом участке в подавляющем большинстве лет характеризовалась 4-м классом качества, разрядов «б» и «в», как «грязная» и «очень грязная». К характерным загрязняющим веществам воды на этом участке Дона:

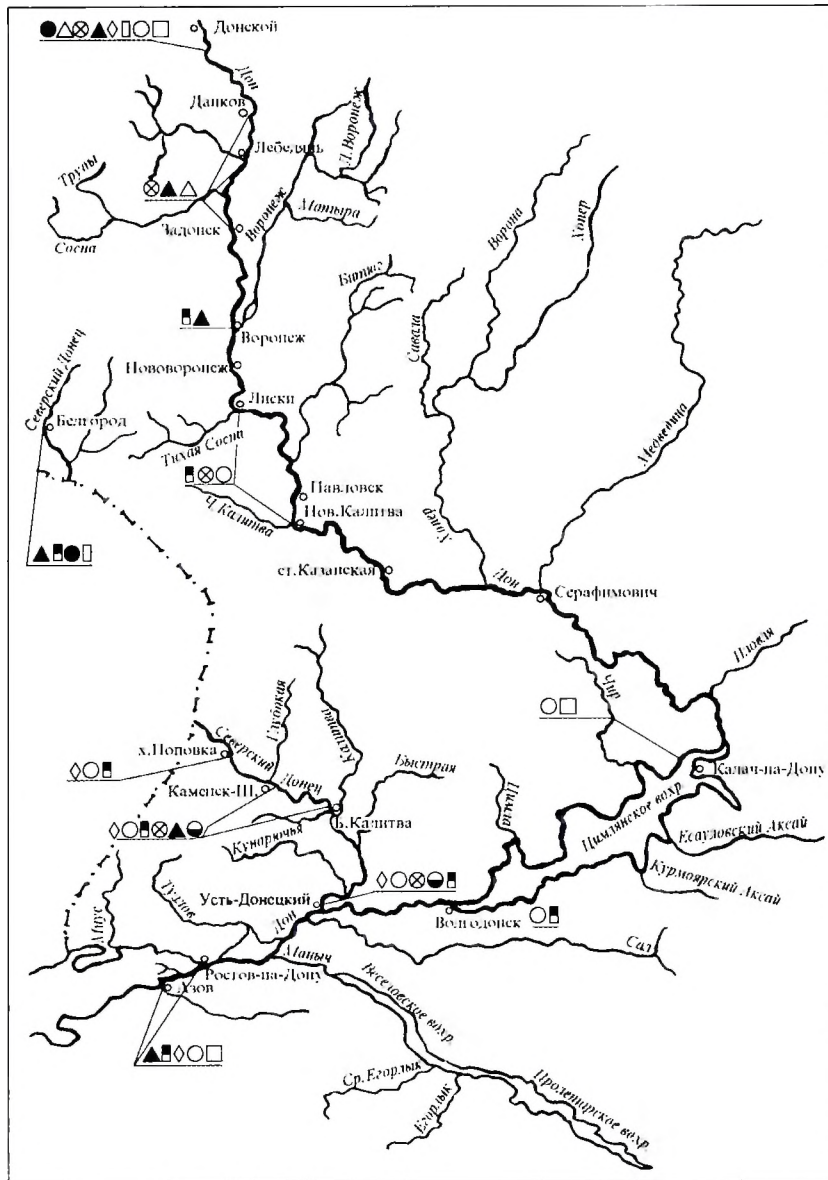


Рис. 7.6. Распределение наиболее характерных загрязняющих веществ в воде р. Дон и р. Северский Донец в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.6

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Дон, г. Ростов-на-Дону — г. Азов							
N-NO ₂	1–6	<1–2	<1–4	Сu	<1–2	<1–6	1–5
НФПР	1–9	2–8	2–5	БПК ₃ (O ₂) мг/л	2,54–3,99	2,06–3,76	2,31–4,61
SO ₄	2	2–3	2–3				

прежде всего наводнения, которые в последние годы стали нередкими.

В лиманы на устьевых участках Кубани поступает ежегодно около 1,5 км³ коллекторно-дренажных вод с рисовых оросительных систем с повышенной минерализацией (до 2000 мг/л) и высоким содержанием сульфатов (200–1000 мг/л), значительным содержанием взвешенных и органических веществ, азота.

Поступление коллекторно-дренажных вод в водные объекты вызывает ухудшение экологической обстановки, массовые заболевания и гибель рыбы, что наносит ущерб рыбному хозяйству. В результате этих воздействий с 1960-х гг. в низовьях Кубани экологическая обстановка резко обострилась. Особую тревогу вызывает состояние лиманов в дельте реки, где обитает более 60 видов рыб.

В связи с развитием орошаемого земледелия существенно сократилось (более чем в 4 раза) поступление воды из Кубани в лиманы.

Примерно с середины 1990-х гг. началось сокращение сброса массы загрязняющих веществ, связанное со спадом производства, сокращением количества и масштабов применения средств защиты растений и выполнением ряда водоохраных мероприятий.

На всем протяжении реки, а также в ее притоках, в воде преобладают соединения металлов: железа, меди, цинка. В большинстве створов к ним добавляются сульфаты, в верховье Кубани — нитритный азот, в нижнем течении — нефтепродукты. В отдельных створах определяются соединения цинка, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), фенолы, СПАВ, аммонийный азот. В число постоянно обнаруживаемых загрязняющих веществ входят также пестициды, в том числе хлорорганические и фосфорорганические соединения (ХОС и ФОС).

В течение 1990–2005 гг. снизилась загрязненность воды р. Кубань нефтепродуктами на всем протяжении: до значений ниже 1 ПДК в 2000–2005 гг. на участке г. Невинномысск–г. Краснодар и до 2–3 ПДК в 2002–2005 гг. на участке хут. Тиховский — г. Темрюк. Наибольшая загрязненность воды реки нефтепродуктами отмечалась в наиболее ранние годы, 1991–1993 и 1996 гг., на участке г. Невинномысск — г. Краснодар; среднегодовые концентрации колебались в пределах 6–33 ПДК, максимальные концентрации достигали 9–67 ПДК.

Высокое содержание соединений железа и меди, наблюдаемое в верховье р. Кубань, обусловлено вымыванием из горных пород и отвалов Урупского

ГОКа. В течение 1991–2005 гг., за исключением 2003 г., соединения железа и меди являлись критическими показателями загрязненности воды верхнего течения р. Кубань на участке г. Невинномысск — г. Кропоткин, повторяемость случаев превышения ПДК колебалась в пределах 50–100%. Среднегодовые концентрации в течение 1990–2005 гг. колебались в пределах: соединений железа — 3–38 ПДК, соединений меди — 1–22 ПДК. За последние годы наблюдалась тенденция некоторого роста содержания соединений цинка в воде р. Кубань на участке ниже г. Армавир — ст-ца Ладожская, среднегодовые концентрации которых составляли 2–3 ПДК, максимальные не превышали 2–5 ПДК. Содержание сульфатов в воде реки было повышено и колебалось в основном в пределах 2–4 ПДК на участке г. Невинномысск — ст-ца Ладожская. Качество воды р. Кубань на участке г. Невинномысск — ст-ца Ладожская характеризовалось: в 1991–1998 гг. — 4-м классом разрядами «б» и «в» («грязная» и «очень грязная»), в 1999–2005 гг. — 4-м классом разрядом «а» «грязная».

Для большинства притоков Кубани также характерно повышенное содержание в воде до (2–4 ПДК) соединений железа и меди, для отдельных притоков (рек Белая, Адагум, Пшиш, Абин, Афипис и др.), кроме соединений железа и меди, соединений цинка — до 1–2 ПДК.

Поверхностные воды бассейна р. Кубань в целом оцениваются 3-м классом качества, как «загрязненные».

Бассейн р. Волга

Распределение наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде р. Волга и ее притоков (без бассейнов Оки и Камы) по течению показано на рис. 7.8–7.11.

Река Волга

Согласно комплексной оценке качества воды Волги и ее водохранилищ за период 1991–2005 гг., резких изменений в характере загрязненности воды не произошло. В большинстве створов вода относилась к 3-му классу качества и оценивалась как «загрязненная». В отдельных створах контроля вода характеризовалась разрядом «а» 4-го класса и оценивалась как «грязная», что наиболее характерно для нижнего течения Волги.

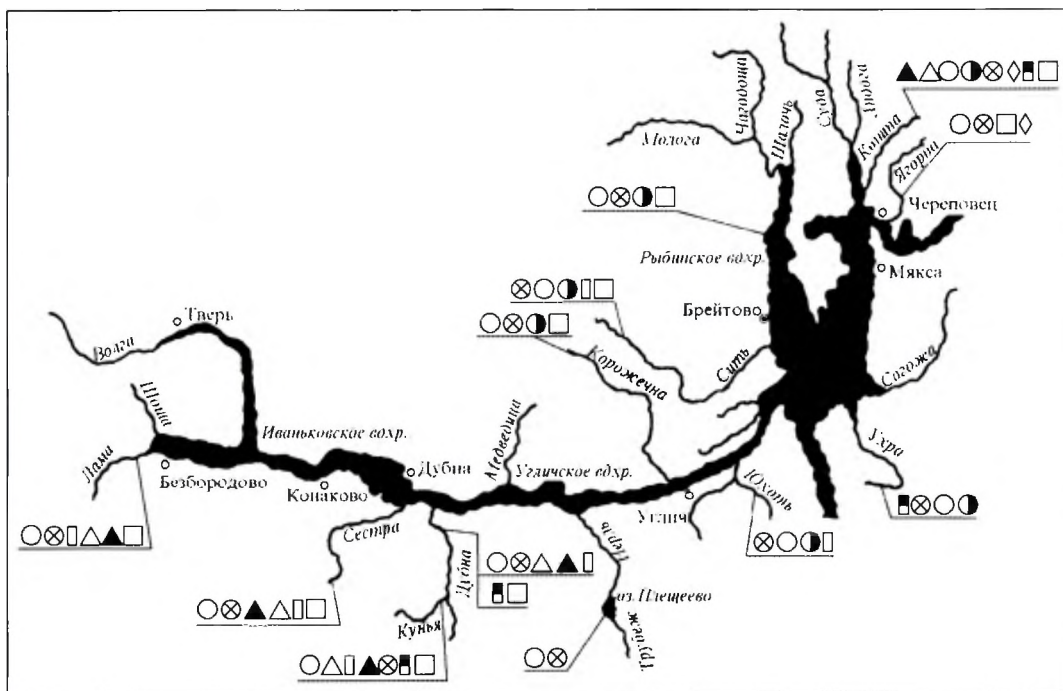


Рис. 7.8. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде рек бассейна р. Волга от г. Тверь до п. Переборы в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.8

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Рыбинское водохранилище				оз. Плещеево, мыс Симак			
Cu	3–12	3–12	1–8	Cu	3–4	1–9	1–6
Fe	<1–6	<1–5	<1–5	Fe	<1	<1	<1–2
Zn	<1–2	<1–2	<1–2	р. Корожечна, д. Сумы			
БПК ₅ (O ₂), мг/л	1,28–3,50	1,10–3,99	0,73–4,86	Cu	3–5	2–4	2–5
р. Лама, с. Егорье				Fe	<1–2	<1–3	<1–2
Cu	4–10	8–16	4–11	Zn	<1	<1	1–2
Fe	5–10	3–7	1–3	БПК ₅ (O ₂) мг/л	0,97–1,88	1,57–2,24	1,38–2,12
Фенолы	3–9	1–4	2–5	р. Сить, д. Правдино			
N-NH ₄	2–3	1–4	<1–3	Fe	1–4	2–4	2–4
N-NO ₂	2–3	2–4	2	Cu	3–5	3–5	2–3
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,93–5,61	2,89–5,31	2,10–3,92	Zn	<1–1	<1–1	1–2
р. Сестра, с. Трехсвятское				Фенолы	<1–2	<1–1	<1–2
Cu	3–10	8–18	2–13	БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,83–3,19	1,96–3,53	2,27–3,13
Fe	8–9	2–5	2–3	р. Юхоть, п. Большое Село			
N-NO ₂	2–5	1–5	1–3	Fe	2–3	3	2–4
N-NH ₄	2–5	1–3	<1–2	Cu	2–7	3–7	1–4
Фенолы	2–12	1–6	2–6	Zn	<1–2	<1–5	<1–2
БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,55–5,50	2,01–4,13	2,32–3,76	НФПР	4–8	2–3	1–2

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Дубна, п. Вербилки				р. Кошта, г. Череповец			
Cu	3–14	7–22	2–14	N-NO ₂	8–11	8–11	9–13
Fe	6–8	2–10	1–3	N-NH ₄	7–21	8–11	4–7
N-NH ₄	2–5	1–4	1–3	Cu	11–15	8–14	6–10
N-NO ₂	2–7	1–3	1–2	Zn	2	3–9	3–4
Фенолы	1–10	2–18	1–8	Fe	3–6	3–6	2–3
НФПР	3–4	2–4	1–5	SO ₄	2–4	2–4	3–4
БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,17–6,15	3,14–4,33	2,18–4,99	НФПР	<1–2	1–2	1–3
р. Кунья, г. Краснозаводск				БПК ₅ (O ₂) мг/л			
Cu	6–10	7–14	3–17		4,72–5,85	3,43–4,82	3,55–4,62
N-NH ₄	2–6	2–3	1–4	р. Ягорба, д. Мостовая — г. Череповец			
Фенолы	3–13	1–6	2–6	Cu	5–14	2–13	3–8
N-NO ₂	2–7	1–9	1–3	Fe	2–5	2–6	1–3
Fe	4–11	3–9	1–3	БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,58–5,56	2,48–5,79	3,01–5,00
НФПР	3–5	2–5	1–5	SO ₄	0,7–2	0,5–2	0,6–2
БПК ₅ (O ₂) мг/л	4,80–7,89	2,43–4,85	2,53–5,18	р. Ухра, д. Ключково			
				НФПР	3–4	2–4	1–3
				Fe	1–2	2–3	2–4
				Cu	4–6	2–7	2–7
				Zn	<1–1	<1–1	<1–2

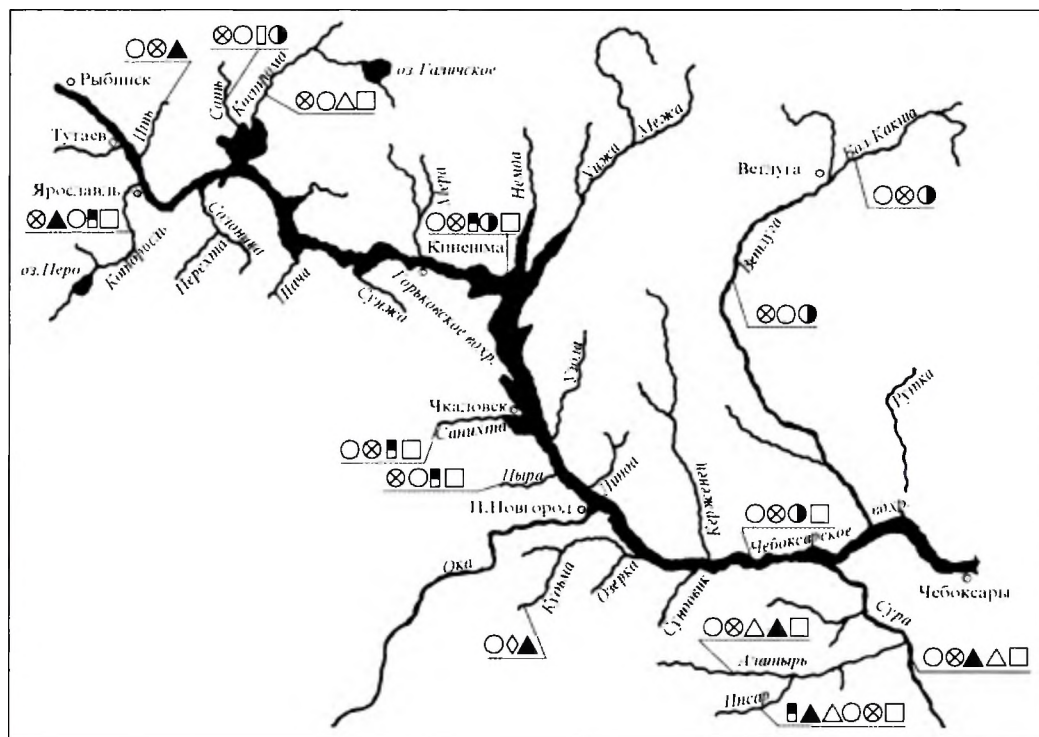


Рис. 7.9. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде рек бассейна р. Волга от г. Рыбинск до г. Чебоксары в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.9

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Горьковское вдхр.				Притоки Чебоксарского вдхр.: р. Пыра, п. Первое Мая			
Cu	2–9	1–7	2–7	Fe	11–23	5–16	6–29
Fe	<1–5	<1–3	<1–3	Cu	3–7	4–6	4
НФПР	2–12	2–7	1–4	НФПР	2–4	3–5	2
Zn	<1	<1–1	<1–2	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,05–3,04	2,28–2,84	1,99–2,71
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,16–4,49	1,24–5,01	1,26–4,07	р. Кудьма, д. Ефимьево — п. Ленинская Слобода			
Чебоксарское вдхр.				Cu	1–9	3–6	3–5
Cu	1–5	2–8	2–8	SO ₄	2–5	2–6	1–6
Fe	1–4	1–5	1–6	N-NO ₂	<1–7	<1–5	<1–10
Zn	<1–1	<1–2	<1–3	р. Сура, г. Пенза — г. Ядрин			
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,83–3,92	0,71–4,48	1,14–3,78	Cu	1–6	2–10	1–7
Притоки Горьковского вдхр.: р. Ить, д. Нестерово				Fe	1–11	1–6	<1–5
Cu	3–6	3–4	2–5	N-NO ₂	<1–8	<1–5	<1–4
Fe	1–2	2–4	1–2	N-NH ₄	<1–2	<1–1	<1–2
N-NO ₂	<1–1	<1–1	<1–2	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,36–3,55	0,69–4,05	1,13–3,86
р. Которосль, г. Гаврилов Ям — г. Ярославль				р. Алатырь, с. Мадаево — г. Алатырь			
Fe	2–3	1–3	1–7	Cu	1–5	2–6	1–6
N-NO ₂	<1–2	<1–3	<1–3	Fe	1–4	1–5	1–3
Cu	3–6	3–5	2–6	N-NH ₄	1–6	<1–2	<1–3
НФПР	6–12	2–6	1–7	N-NO ₂	<1–2	<1–6	<1–2
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,57–4,32	1,94–3,58	1,95–3,79	БПК ₅ (O ₂) мг/л	0,50–3,35	0,64–4,03	1,20–5,04
р. Соть, д. Верхний Жар				р. Инсар, с. Рузаевка — д. Языковка			
Fe	1–2	1–4	1–4	НФПР	4–74	1–6	2–30
Cu	3–5	3–5	2–4	N-NO ₂	<1–11	<1–7	<1–8
Фенолы	<1–1	<1–1	<1–2	N-NH ₄	<1–16	<1–42	1–6
Zn	<1	<1	1	Cu	3–7	1–7	1–8
р. Кострома, г. Буй — д. Исады				Fe	1–6	1–7	2–12
Fe	1–4	1–6	1–4	БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,40–7,36	1,33–8,27	1,35–6,65
Cu	2–4	3–7	2–7	р. Ветлуга, г. Ветлуга — д. Марьино			
N-NH ₄	<1–2	<1–2	<1–2	Fe	2–9	1–6	1–13
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,00–3,68	1,25–3,42	1,55–3,24	Cu	2–5	1–5	1–6
Р. Санихта, г. Чкаловск				Zn	<1–2	<1–2	<1–2
Cu	3–5	4–6	2–5	Р. Б. Какша, р.п. Сява			
Fe	<1–3	<1–2	<1–3	Cu	3–5	2–4	3–6
НФПР	2–5	2–3	1–4	Fe	3–8	3–7	3–8
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,38–2,91	2,02–3,46	2,06–3,35	Zn	1–2	1–2	<1–2

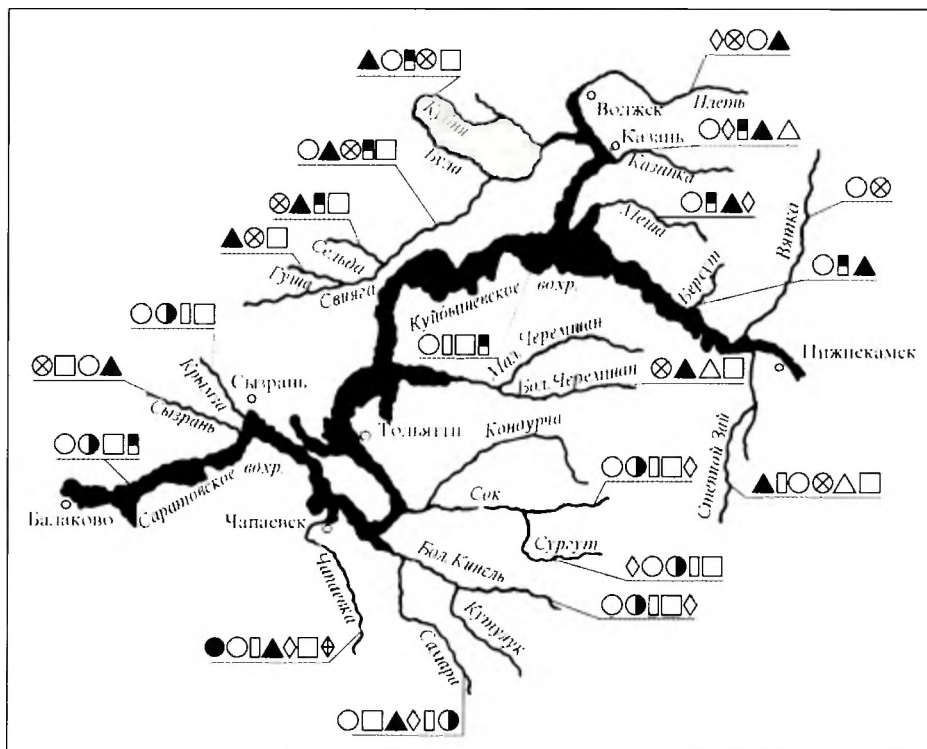


Рис. 7.10. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде рек бассейна р. Волга от г. Волжск до г. Балаково в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.10

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Куйбышевское вдхр.				р. Б. Черемшан, п. Новочеремшанск — г. Димитровград			
Cu	>1–17	>1–6	2–14	Fe	1–5	1–3	1–3
Фенолы	>1–8	>1–7	>1–6	N-NO ₂	>1–3	>1–9	>1–5
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,22–5,40	0,84–3,44	1,09–3,36	N-NH ₄	>1–1	>1–1	>1–1,5
НФПР	>1–7	>1–9	>1–10	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,61–3,78	2,40–3,53	2,05–2,64
Саратовское вдхр.				Притоки Саратовского вдхр.: р. Сок, р. п. Сергиевск — с. Красный Яр			
Cu	1–15	>1–7	>1–13	Cu	2–6	<1–3	1–10
Zn	>1–2	>1–2	>1–4	Zn	<1–2	<1–4	<1–4
БПК ₅ (O ₂) мг/л	0,96–3,29	1,66–3,65	1,37–3,67	Фенолы	1–4	1–6	1–2
НФПР	>1–7	>1–3	>1–2	БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,76–4,86	3,93–4,22	3,76–4,48
Притоки Куйбышевского вдхр.: Бассейн р. Свяга				SO ₄			
Cu	1–10	1–8	>1–12	р. Сургут, г. Серноводск			
N-NO ₂	1–6	1–5	1–5	SO ₄	1–3,5	1–4	3
Fe	2–15	1–8	1–6	Cu	2–7	1–3	1–9
НФПР	>1–2	>1–4	>1–3	Zn	1–2	2–4	<1–2
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,67–6,97	2,24–5,93	1,99–3,57	Фенолы	1–4	2–3	1–4
				БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,74–4,86	3,93–4,22	3,76–4,48

Окончание табл. к рис. 7.10

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Илеть, п. Красногорский Лесозавод				р. Самара, г. Бузулук — г. Самара			
SO ₄	1,5–3	3–6	4–7	Cu	1–15	<1–4	<1–11
Fe	1–4	1–8	4–5	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,56–4,48	2,39–4,22	2,33–4,70
Cu	>1–4	1–5	>1–5	N-NO ₂	1–9	1–10	<1–5
N-NO ₂	>1	>1–2	>1–2	SO ₄	<1–1,5	<1–2	<1–2
р. Казанка, г. Казань				Фенолы			
Cu	>1–10	3–6	3–7	Zn	<1–1	<1–4	<1–3
SO ₄	2–4	2–4	1–3	р. Б. Кинель, г. Отрядный — пгт Тимашево			
НФПР	1–2	1–3	2–3	Cu	2–12	<1–4	1–14
N-NO ₂	2–5	>1–2	1–2	Zn	<1–1	<1–4	1–5
N-NH ₄	>1–2	>1–2	1–2	Фенолы			
р. Берсут, с. Урманчеево				БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,73–4,52	3,71–4,82	3,51–4,60
Cu	1–8	2–5	3–5	SO ₄	<1–2	1–3	1–3
НФПР	>1–2	>1–2	2–3	р. Чапаевка, г. Чапаевск			
N-NO ₂	>1–4	>1–2	2–4	Cu	2–14	1–3	1–12
р. Меша, с. Пестрецы				Фенолы			
Cu	1–8	4–6	1–7	N-NO ₂	1–8	1–13	<1–7
НФПР	>1–2	1–2	2–4	SO ₄	1–3	1–5	2–4
N-NO ₂	>1–4	1–2	2–4	БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,43–4,49	2,17–4,36	3,09–4,50
SO ₄	1–2	1–2	1	4,4' ДДТ, мкг/л	0,000–0,017	0,000–0,003	0,000–0,002
р. Вятка, г. Кирс — г. Вятские Поляны				α-ГХЦГ, мкг/л	0,012–0,756	0,004–0,097	0,000–0,062
Cu	1–7	1–5	1–6	γ-ГХЦГ, мкг/л	0,019–0,435	0,005–0,057	0,002–0,024
Fe	>1–4	>1–5	>1–4	р. Крымза, г. Сызрань			
р. Степной Зай, г. Альметьевск				Cu	4–17	1–10	4–15
N-NO ₂	2–6	2–7	3–9	Zn	<1–1	<1–7	2–3
Фенолы	>1–5	>1–7	3–5	Фенолы			
Cu	5–11	3–7	3–4	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,56–4,07	4,44–6,32	3,52–4,21
Fe	4–17	2–8	2–3	р. Сызрань, с. Репьевка			
N-NH ₄	>1–2	1–2	1–3	Fe	3–6	3–6	3–4
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,45–4,10	2,03–2,82	2,00–5,58	БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,15–4,09	2,56–3,56	2,35–3,70
				Cu	1–5	2–6	1–4
				N-NO ₂	<1–2	1–4	1–2

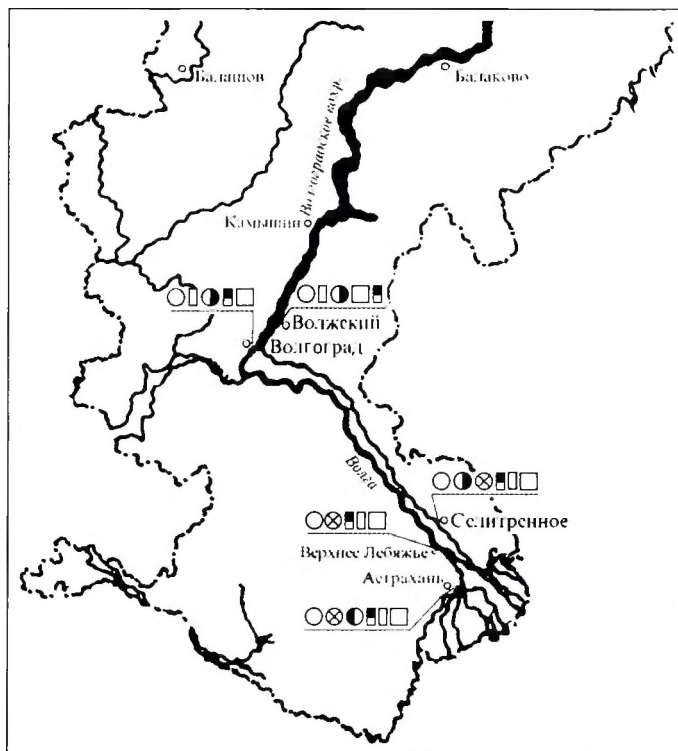


Рис. 7.11. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде низовья р. Волга в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.11

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Волгоградское вдпр.				р. Волга, г. Астрахань			
Сu	2–7	2–4	1–3	Сu	2–19	4–9	2–13
Фенолы	1–3	1	<1–2	Fe	<1–2	<1–4	1–3
Zn	<1–1	<1	<1–2	Zn	<1–6	1–4	1–7
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,85–2,41	1,43–2,29	1,55–2,79	НФПР	2–10	1–6	1–3
НФПР	<1–2	<1–7	1–2	Фенолы	1–6	2–12	2–6
р. Волга, г. Волгоград				БПК ₅ (O ₂) мг/л			
Сu	2–7	1–5	1–4		2,12–3,23	3,03–4,22	2,60–4,57
Фенолы	<1–4	<1–3	<1–3	рук. Ахтуба, с. Селитренное			
Zn	<1–2	<1	<1–1,5	Сu	8–14	4–9	2–13
НФПР	<1–5	<1–11	1–3	Zn	3–6	2–5	1–11
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,64–2,56	1,36–2,38	1,50–3,74	Fe	<1–3	<1–4	1–2
р. Волга, с. Верхнее Лебяжье				НФПР	3–11	1–4	2
Сu	7–15	4–9	2–8	Фенолы	1–4	2–10	2–7
Fe	<1–2	<1–4	1–3	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,30–3,37	3,72–4,29	3,04–4,14
НФПР	3–9	1–9	1–3				
Фенолы	1–4	3–10	2–4				
БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,39–3,61	3,25–4,26	2,34–4,82				

Верхняя Волга

Наиболее распространенными загрязняющими веществами Верхней Волги и ее водохранилищ в течение указанного выше периода были легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅(O₂)) и соединения меди, превышения ПДК которыми составляло 59–67–48–50% и 92–80–76–90% от общего числа проанализированных проб соответственно. Частота случаев превышения ПДК нефтепродуктами снижалась от 86–54% в 1991–2001 гг. до 39–28% в 2002–2005 гг. Стабильность загрязненности воды соединениями цинка возросла от 30–41% в 1991–2001 гг. до 58–64% в 2002–2005 гг. Менее устойчивой была загрязненность воды остальными ингредиентами: фенолами — 31–45%, соединениями железа — 38–60%, аммонийным азотом — 14–26%, нитритным азотом — 10–28%.

Ниже г. Ржев из загрязняющих веществ воды реки выделялись соединения меди, которые достигали критического уровня загрязненности воды в 2004–2005 гг. При этом наблюдали случаи ЭВЗ соединениями меди до 65 ПДК.

По комплексной оценке вода Верхне-Волжских водохранилищ оценивалась: **Иваньковского** — как «грязная» и «очень загрязненная»; **Углицкого** и **Рыбинского** — как «загрязненная». Распределение характерных загрязняющих веществ в водотоках Верхне-Волжских водохранилищ показано на рис. 7.8. Реки, протекающие по территории Московской области (**Дубна**, **Кунья** и **Сестра**), отличаются более высокой степенью загрязненности воды и в большинстве лет характеризовались как «грязные», оценивались разрядом «а» 4-го класса качества в 2000–2005 гг. и разрядами «б» и «в» в более ранние годы наблюдений.

С 1992 по 2000 г. вода **Горьковского водохранилища** варьировала в пределах 3-го класса и разряда «а» 4-го класса качества, с 2001 по 2005 г. — в пределах 3-го класса разрядов «а» и «б». Наиболее напряженным состоянием характеризуется вода водоема ниже г. Ярославль, где вода с 1992 по 2000 г. характеризовалась как «грязная», с 2001 по 2005 г. — как «загрязненная» и «очень загрязненная». Уровень загрязненности воды большинства притоков Горьковского водохранилища оценивался 3-м классом, ухудшаясь в отдельные годы до 4-го класса разряда «а». Наиболее высокий уровень загрязненности воды фиксировался в р. **Которосль** в створах выше и ниже г. Гаврилов Ям, где вода соответствовала 4-му классу качества разряда «а».

Вода **Чебоксарского водохранилища** характеризовалась как 3-м, так и 4-м классами качества разряда «а», с 2004–2005 гг. — 3-м классом, причем число створов между разрядами распределялось поровну.

Вода притоков Чебоксарского водохранилища характеризовалась 3-м классом разрядами «а» и «б» и 4-м классом разрядами «а», «б», и «в» — как «загрязненная», «очень загрязненная», «грязная» и «очень грязная».

По комплексу гидрохимических показателей вода **Куйбышевского** и **Саратовского водохранилищ** оценивалась 3-м и 4-м (разряда «а») классами качества.

Вода **Волгоградского водохранилища** в последние годы классифицировалась как «слабо загрязненная», «загрязненная» и «очень загрязненная» и соответствовала 2-му классу качества и разрядам «а» и «б» 3-го класса. В 1993 и 1996 гг. более высокий уровень загрязненности воды водохранилища в створах ниже г. Камышин и в черте г. Волжский (4-й класс разряда «а») обусловлен высоким содержанием в воде водоема соединений меди (1993 г.), в среднем до 14–7 ПДК, и нефтепродуктов (1996 г.), в среднем до 11–7 ПДК.

Устьевой участок р. Волга

Сточные воды жилищно-коммунального хозяйства г. Астрахань, наличие нефтеналивных баз, а также судоходство создают значительную экологическую напряженность в низовье Волги. По комплексу гидрохимических показателей вода реки в этом створе оценивалась 4-м классом разрядов «а», «б» и «в» и характеризовалась как «грязная» и «очень грязная» (1995 г., 1998 г., когда критического уровня содержания в воде достигали фенолы, нефтепродукты, соединения меди и цинка).

Бассейн р. Ока

Одной из характерных особенностей загрязнения поверхностных вод бассейна р. Ока являлось повышенное содержание в воде соединений минерального азота, причем в промышленных районах содержание азота, а также фосфора в речных водах значительно выше, чем в сельскохозяйственных. Содержание соединений азота, фосфора и других биогенных элементов в поверхностных водах малых и средних рек, на территории бассейнов которых не были (или были в незначительном количестве)

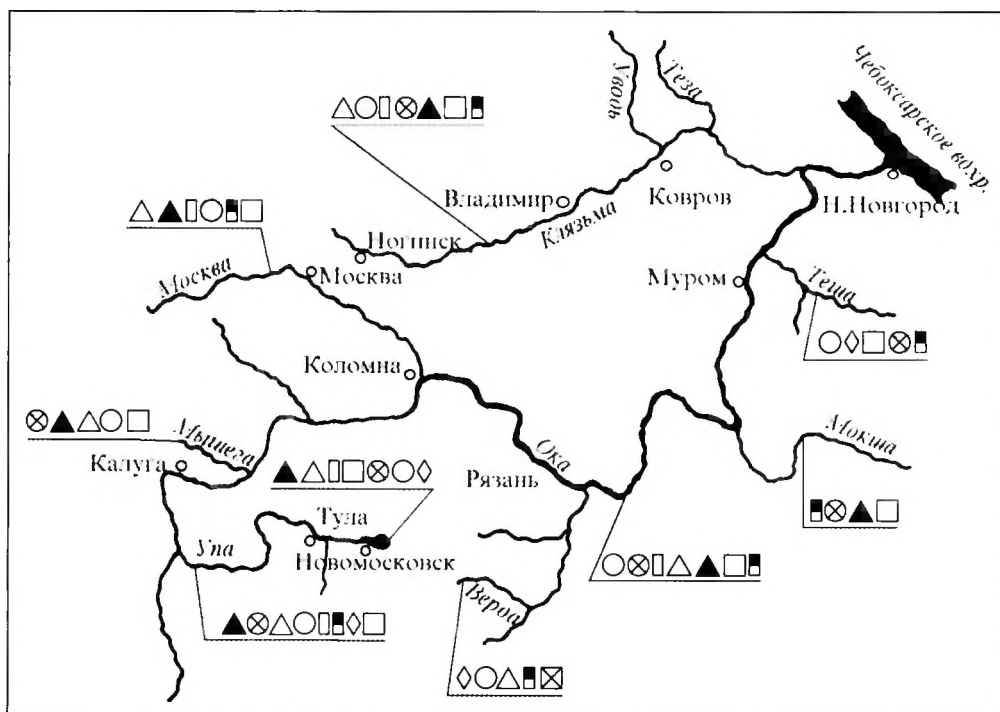


Рис. 7.12. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде рек бассейна р. Ока в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.12

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Ока, г. Орел — г. Нижний Новгород				р. Москва, д. Барсуки — г. Коломна			
Cu	<1–10	<1–15	<1–15	N-NH ₄	1–13	<1–8	<1–16
Fe	<1–10	<1–8	<1–6	N-NO ₂	1–19	<1–20	<1–15
Фенолы	<1–9	<1–9	<1–6	Фенолы	1–15	<1–13	2–11
N-NH ₄	<1–9	<1–4	<1–5	Cu	2–14	2–21	4–18
N-NO ₂	<1–9	<1–15	<1–9	НФПР	2–7	1–10	1–8
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,03–6,83	1,04–4,53	0,96–6,39	БПК ₅ (O ₂) мг/л	2,68–7,71	1,71–5,88	2,26–8,14
НФПР	<1–14	<1–7	<1–6	р. Верда, г. Скопин			
р. Уна, п. Ломинцевский — д. Кулешово				SO	4–6	4–7	3–7
N-NO ₂	2–30	1–18	<1–14	Cu	2–6	4–5	2–4
Fe	1–8	1–5	<1–6	N-NH ₄	<1–21	<1–3	<1–6
N-NH ₄	<1–14	<1–8	<1–9	НФПР	3–10	2–7	<1–5
Cu	2–16	1–4	1–5	Фосфаты	-	<1	<1–3
Фенолы	4–15	2–20	<1–4	р. Мокша, г. Темников — с. Шевалеевский Майдан			
НФПР	1–6	2–8	<1–2	НФПР	2–14	1–9	1–8
SO ₄	1–2	1–2	<1–2	Fe	1–5	1–4	<1–4
БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,33–7,81	2,44–6,19	1,18–4,56	N-NO ₂	<1	<1–3	<1–3
				БПК ₅ (O ₂) мг/л	1,51–6,64	1,40–5,52	1,88–3,06

Окончание табл. к рис. 7.12

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Шатское вдхр.				р. Теша, д. Новоселки — д. Натальино			
N-NO ₂	9–35	3–20	<1–26	Cu	3–5	3–6	4–6
N-NH ₄	4–28	1–16	<1–15	SO ₄	2–5,5	2–6	1–4
Фенолы	7–19	1–18	1–5	БПК ₅ (O ₂) мг/л	4,61–12,0	2,56–11,3	1,44–8,79
БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,08–9,71	2,83–6,07	1,39–5,26	Fe	3–6	1–5	1–3
Fe	<1–3	<1–4	<1–3	НФПР	1–17	1–7	<1–1
Cu	1–13	2–4	1–5	р. Клязьма, г. Щелково — г. Орехово-Зуево			
SO ₄	2–4	2–4	2–3	N-NH ₄	1–10	1–5	1–13
р. Мышега, г. Алексин				Cu	4–15	2–19	3–11
Fe	2–5	3–7	3–10	Фенолы	<1–19	<1–11	2–11
N-NO ₂	9–15	7–13	4–34	Fe	1–13	2–12	1–11
N-NH ₄	6–12	5–9	2–6	N-NO ₂	<1–17	<1–10	1–32
Cu	2–10	1–3	2–3	БПК ₅ (O ₂) мг/л	3,41–9,24	2,67–8,72	2,08–8,24
				НФПР	3–38	1–9	1–6

расположены промышленные предприятия, может быть обусловлено, с одной стороны, естественными условиями территории, а с другой — сельскохозяйственными нагрузками на эти ландшафты. В то же время содержание соединений азота увеличивалось в промышленных водах малых и средних рек, протекающих по территории Московской области, где применялось значительное количество азотных удобрений, и в реках, дренирующих территории с преобладанием темно-серых лесных почв и черноземов, имеющих большие, чем дерново-подзолистые и серые лесные почвы, естественные запасы почвенного азота. Распределение наиболее распространенных загрязняющих веществ в бассейне Оки показано на рис. 7.12.

За период с 1992 по 2005 г. качество воды по течению **Оки** было разнообразным и варьировало в широком диапазоне: от 2-го класса (ниже и выше г. Калуга) до разрядов «а», «б», «в» и «г» 4-го класса. Наиболее загрязненным был участок реки на территории Московской области (в районе городов Серпухов, Кашира и Коломна), характеризующийся, в основном, 4-м классом качества разрядов «а» и «б», а в отдельные годы — 5-м классом качества, когда вода оценивалась как «экстремально грязная» (р. Ока ниже г. Коломна в 1994–1995 гг., 1998 г.). Критическими загрязняющими веществами воды этого участка реки являлись нитритный и аммонийный азот, соединения железа и меди, фенолы, нефтепродукты. С 2000 г. число критических загрязняющих веществ уменьшилось, в основном это были соединения меди (в 2000–2003 гг.), в отдельные годы — аммонийный и нитритный азот (города Серпухов, Кашира, Ко-

ломна), фенолы (г. Коломна). Ниже по течению качество воды реки улучшалось до 3-го класса — у г. Рязань с 1999 г., г. Касимов с 1994 г. Нижнее течение р. Ока, по сравнению с участком реки г. Рязань — г. Касимов, было более загрязненное. Вода реки у г. Павлово, Дзержинск и Нижний Новгород в подавляющем большинстве лет характеризовалась 4-м классом качества разрядов «а» и «б» и оценивалась как «грязная». В отдельные годы уровень загрязненности воды реки несколько снижался (до разряда «б» 3-го класса): у г. Павлово — в 1997–1998 гг. и 2004 г., у г. Дзержинск — в 2002 г. и 2004 г., у г. Нижний Новгород — в 2004 г. Критического уровня содержания в воде реки у этих городов в разных вариантах достигали нефтепродукты, соединения меди и железа, аммонийный и нитритный азот. Специфическими загрязняющими веществами в отдельные годы были формальдегид, метанол, соединения свинца.

Вода **притоков р. Ока** по качеству варьировала в широком диапазоне: от «слабо загрязненной» до «экстремально грязной». В течение 1992–2005 гг. вода большинства притоков оценивалась 4-м классом качества разрядами «а», «б», «в» и «г», как «грязная» и «очень грязная», в отдельные годы — 5-м классом качества («экстремально грязная» вода). Число критических показателей загрязненности воды менялось по отдельным водным объектам от полного их отсутствия до 5. Чаще критического уровня достигала загрязненность воды аммонийным и нитритным азотом, легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), реже — соединениями железа, меди, фенолами, сульфатными ионами.

Река Москва по всему течению является грязным, на отдельных участках чрезвычайно грязным водным объектом. Как правило, наиболее загрязнен створ ниже д. Нижнее Мячково, где вода в большинстве лет оценивалась 5-м классом, а также 4-м классом разрядов «в» и «г», характеризуясь как «экстремально грязная» и «очень грязная». Из 15 ингредиентов и показателей, используемых для комплексной оценки качества воды, 9–11 относились к загрязняющим. Критическими загрязняющими веществами воды реки были аммонийный и нитритный азот, фенолы, нефтепродукты, соединения меди и железа; начиная с 2001 г. к ним добавлялись легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅).

Притоки реки Москва

Загрязненность воды притоков р. Москва — рек **Истра, Пахра, Нерская, Медвенка, Закза, Руза и Яуза** — колебалась в пределах разрядов «а», «б», «в» и «г» 4-го класса, достигая в отдельные годы 5-го класса. Число критических показателей загрязненности воды водотоков изменялось от их отсутствия до 6; к ним относились аммонийный и нитритный азот, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), реже — соединения меди, фенолы, нефтепродукты.

Бассейн р. Кама

Источниками антропогенного загрязнения поверхностных вод бассейна **реки Кама** с 1991 по 2005 г. являлись сточные воды многих отраслей промышленности, хозяйственно-бытовые сточные воды муниципальных образований городов и других населенных пунктов, поверхностный сток и др. Основные промышленные центры — города Соликамск, Березники, Пермь, Чайковский, Краснокамск, Чусовой, Первоуральск, Стерлитамак, Уфа и др. Формирующиеся под их влиянием поверхностные воды бассейна в течение периода с 1991 по 2005 г. отличаются достаточно разнообразным химическим составом, различием происходящих в них изменений как в пространственном, так и во временном аспектах, существенными отличиями их качества. В разные годы на разных водных объектах бассейна или их участках с различной частотой наблюдались воды практически всей шкалы качества, от 1-го класса «условно чистых» до 5-го класса «экстремально грязных» вод.

По степени загрязненности воды водных объектов прослеживается превалирование «загрязненных» и «грязных» вод 3-го и 4-го классов качества, которые фиксировались в 86–99% створов наблюдений в течение всего исследуемого периода. В более ранние годы (1992–1997 гг.) в бассейне преобладали «грязные» воды 4-го класса качества разрядов «а» и «б», отмечавшиеся в 54–60% створов. Значительно реже, в 19–31% створов, в этот период регистрировались воды 3-го класса качества, оцениваемые как «загрязненные». Начиная с 1998 г. постепенно происходят качественные изменения поверхностных вод, выражающиеся в снижении распространенности категории воды «грязная» (4 «а» и «б») от 55% в 1998 г. до 24–31% в 2001–2004 гг. и 42% створов в 2005 г. В ряде створов на отдельных водных объектах или на их участках прослеживалось снижение степени загрязненности, и вода по качеству переходила из 4-го класса «грязных» в 3-й класс «загрязненных» вод. Об этом свидетельствовало увеличение числа створов, вода в которых соответствовала 3-му классу качества и оценивалась как «загрязненная» — от 40% в 1998 г. до 73% в 2001 г. с дальнейшей стабилизацией в последующие годы в пределах 56–69%.

Для собственно р. Кама и ее водохранилищ в течение всего анализируемого периода, с 1991 по 2005 г. включительно, характерно присутствие в воде в концентрациях выше ПДК соединений железа, меди, марганца. Повторяемость случаев нарушения нормативов по содержанию в воде этих металлов в каждой пробе превышала 50%. В течение всего анализируемого периода для р. Кама и ее водохранилищ наиболее характерны среднегодовые концентрации в воде соединений железа до 14 ПДК. В 1992–1993 гг. в р. Кама в районе пгт Гайны, в Камском водохранилище в 1992 г. в створе ниже г. Березники и в 1993 г. в створе в черте г. Пермь, в 1996 г. в створе ниже д. Усть-Пожва, в 1998 г. в р. **Киги** у д. Кандаковка отмечали более высокие концентрации соединений железа, в среднем в диапазоне 15–25 ПДК. Повторяемость случаев обнаружения концентраций соединений железа, выше 10 ПДК в воде р. Кама и ее водохранилищ последовательно снижалась от 22–32% отобранных проб в начальный период (1992–1993 гг.) до 11% в 1997–1998 гг., затем до 3 и 1% в 2004 и 2005 гг. соответственно. Очень высокая загрязненность соединениями железа, обусловленная самоизливом шахтных вод Кизеловского угольного бассейна, имела место в течение всего анализируемого периода в р. **Коси**.

ва на участке ниже г. Губаха и в районе с. Перемское. В 1992 г. регистрировался абсолютный максимум загрязнения — среднегодовая концентрация в воде соединений железа в створе 0,3 км ниже г. Губаха составляла 144 ПДК, максимальная разовая — 735 ПДК. К 1995—1997 гг. она снизилась до 18—25 ПДК. В последующие годы загрязненность воды р. Косьва соединениями железа в створе 0,3 км ниже г. Губаха вновь возросла. С 2000 по 2005 г. среднегодовая концентрация соединений железа составляла 42—71 ПДК. Максимальные разовые концентрации, как правило, превышали уровень ВЗ и ЭВЗ. В течение 2005 г. здесь фиксировали 4 случая ВЗ воды соединениями железа в диапазоне 32—45 ПДК и 3 случая ЭВЗ воды р. Косьва соединениями железа от 64 до 219 ПДК.

Соединения меди в концентрациях выше нормативных в течение 1991—2005 гг. определялись в бассейне Камы в 70—87% проб. В воде большинства водных объектов бассейна среднегодовые концентрации соединений меди варьировали в достаточно узком диапазоне, от полного отсутствия до 13 ПДК. Чрезвычайно высока загрязненность соединениями меди воды р. Чусовая на участке 1,7—17 км ниже г. Первоуральск. В р. Чусовая и ее притоки поступали промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды муниципальных образований городов Полевской, Дегтярск, Ревда, Первоуральск, р. п. Староуткинск. В течение 1992—1999 гг. среднегодовые концентрации соединений меди в воде р. Чусовая на участке 1,7—17 км ниже г. Первоуральск значительно превышали уровень высокого загрязнения и составляли 72—177 ПДК, на участке р. п. Староуткинск — с. Усть-Утка достигали в 1995 г. 198 ПДК. Начиная с 2000 г. по 2005 г. среднегодовые концентрации в воде р. Чусовая в створах 1,7 км и 17 км ниже г. Первоуральск стабилизировались на уровне высокого загрязнения и составляли, как правило, 33—44 ПДК. В 2005 г. в контрольных створах ниже г. Первоуральск регистрировали 3 случая экстремально высокого загрязнения воды р. Чусовая соединениями меди, 62, 63 и 52 ПДК.

К характерным загрязняющим веществам р. Чусовая на этом участке в течение всего рассматриваемого временного отрезка относились соединения шестивалентного хрома. В 1991 г. здесь фиксировали среднегодовые концентрации в воде соединений шестивалентного хрома 413—533 ПДК. Начиная с 1992 г. и вплоть до 2000 г. уровень концентраций уменьшился до 15—32 ПДК. Затем следует 3-летний период (2001—2003 гг.) дальнейшего снижения за-

грязненности воды р. Чусовая на участке 1,7—17 км ниже г. Первоуральск соединениями шестивалентного хрома до 10—14 ПДК. В 2004 г. вновь отмечался рост концентраций в воде соединений шестивалентного хрома в среднем до 16—21 ПДК. В 2005 г. наблюдали уменьшение загрязненности воды р. Чусовая в этих створах соединениями шестивалентного хрома до среднегодовой концентрации 8 ПДК при максимальных разовых 24 и 26 ПДК. Повторяемость случаев превышения ПДК при этом была близка к 100%. В течение всего рассматриваемого периода в р. Чусовая вплоть до г. Чусовой наблюдали транзит загрязнений, поступающих в р. Чусовая в районе Первоуральско-Ревдинского промузла.

Соединения марганца в концентрациях выше ПДК в период 1995—2005 гг. наблюдались в 76—93% проб, причем в 20—30% проб концентрации в воде соединений марганца превышали 10 ПДК. Наиболее характерен для водных объектов бассейна р. Кама диапазон концентраций соединений марганца от отсутствия в отдельных пробах до 20 ПДК.

По степени загрязненности воды комплексом наиболее характерных загрязняющих веществ в течение 1992—2005 гг. р. Белая оценивалась до 1997 г. (в ряде пунктов до 2000 г.) преимущественно как «грязная» и относилась к разрядам «а» и «б» 4-го класса качества. Лишь в створах 10,5 км ниже г. Стерлитамак в 1999 г. и на участке реки в районе р. п. Прибельский вода оценивалась как «очень грязная» и относилась к разряду «в» 4-го класса. В последующие годы по комплексной оценке прослеживалась некоторая тенденция к снижению загрязнения реки химическими веществами и преобладанию в большинстве створов вплоть до 2005 г. воды 3-го класса качества.

К характерным загрязняющим веществам воды р. Белая в течение всего периода (1991—2005 гг.) относились соединения меди, марганца, железа. Загрязненность воды р. Белая нефтепродуктами с 1991 по 2005 г. заметно снизилась на участке р. п. Прибельский — р. п. Дюртюли. В 1991—1998 гг. среднегодовые концентрации в воде нефтепродуктов здесь составляли 4—18 ПДК, разовые концентрации в пунктах г. Уфа и р. п. Дюртюли достигали в ряде случаев 70—185 ПДК. В последующие годы концентрации в воде р. Белая нефтепродуктов снизились в среднем до менее 1—2 ПДК.

Содержание в воде р. Белая в течение 1991—2005 гг. легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) по всему течению редко превышало

5,00 мг/л, в среднем оставаясь в пределах ПДК или слегка превышая норматив. Наибольшие разовые значения БПК₅ в пределах 5,02–7,54 мг/л отмечались на разных участках в 1991–1992, 1995 гг. и в единичных створах в 1996 г.

Бассейн р. Обь

Река Обь загрязнена на всем протяжении нефтепродуктами, фенолами, аммонийным азотом, соединениями меди, железа и легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), а в нижнем и среднем течении — соединениями цинка и марганца, в верхнем течении в отдельные годы — соединениями ртути (рис. 7.13).

Загрязнение реки начинается с истока (с. Фоминское), где в 1991–1995, 1998 гг. вода соответствовала 4-му классу качества разрядов «а», «б» и «в», в 1996–1997, 1999–2005 гг. — 3-му классу разрядов «а» и «б». Вода реки ниже г. Барнаул за период 1992–2000, 2002–2004 гг. оценивалась как «грязная». В 1991, 2001, 2005 гг. качество воды в этом створе характеризовалось 3-м классом — «очень загрязненная».

На участках реки у г. Новосибирск, г. Нижневартовск — г. Салехард качество воды низкое и соответствует разрядам «а», «б», «в» и «г» (с. Мужы) 4-го класса.

Вода рек и озер, находящихся на территории Алтайского края и Республики Алтай, характеризовалась, в основном, 3-м классом обоих разрядов. Исключением являлись озера **Телецкое** и **Кучукское**, где вода оценивалась как «слабо загрязненная» и как «экстремально грязная» соответственно. Устойчиво загрязнение воды р. **Барнаулка** нитритным и аммонийным азотом — до 5 и 9 ПДК, нефтепродуктами и фенолами — до 11 ПДК, легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) — до 5,61 мг/л. Загрязненность соединениями ртути достигала экстремально высокого уровня (24 и 6 ПДК) в 1994 г. и 1996 г. (рис. 7.14).

Река Исеть

На формирование химического состава воды реки значительное влияние оказывала зарегулированность верхних участков реки прудами и водохранилищем. Река Исеть является не только самым загрязненным притоком р. Тобол, но одной из наиболее загрязненных рек России. Сложившаяся экологическая обстановка крайне неблагоприятна в течение ряда лет (15–20) (рис. 7.15). К наиболее

характерным загрязняющим веществам р. Исеть в районе г. Екатеринбург относились соединения меди, цинка, железа, марганца, аммонийный и нитритный азот, фенолы, нефтепродукты. Уровень загрязненности воды реки в створе «7 км ниже г. Екатеринбург» устойчив и высок. Вода оценивалась как «очень грязная», в отдельные годы как «экстремально грязная». В 2005 г. почти все учтенные в комплексной оценке ингредиенты (12 из 15) являлись загрязняющими веществами. Критические показатели: легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), нитритный азот, соединения меди — присутствовали во всех отобранных пробах воды. В районе г. Екатеринбург для р. Исеть характерно присутствие в воде крайне токсичного вещества — соединений мышьяка, не превышающее допустимый норматив. В створах г. Екатеринбург «7 км и 19,1 км ниже города» уровня высокого загрязнения достигало содержание нитритного азота в 2005 г. (16 ПДК) и экстремально высокого — соединений меди (82–84 ПДК).

Река Миасс

Вода реки во всех пунктах наблюдений загрязнена аммонийным и нитритным азотом, соединениями меди, цинка, железа, нефтепродуктами, в контрольных створах г. Челябинск и с. Каргаполье — легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), а в контрольных створах г. Челябинск еще сероводородом и сульфидами. В черте и ниже г. Миасс вода реки характеризуется 4 классом качества разряда «а». Критическими показателями в обоих створах были соединения марганца, а в створе «29 км ниже города» — и нитритный азот, повторяемость случаев превышения ПДК которыми достигает 100%. Единичные максимальные концентрации соединений марганца превышали 10 ПДК, а нитритного азота — 30 ПДК.

Бассейн р. Енисей

На рис. 7.16 показано распределение наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде некоторых водных объектов бассейна р. Енисей в районе расположения наиболее крупных промышленных предприятий Восточной Сибири.

В верховье р. Енисей у г. Кызыл вода в 1993–2001 гг., 2003 г. характеризовалась 4-м классом качества разрядов «а» и «б», в 2002, 2004, 2005 гг. качество воды улучшилось до 3-го класса разряда «б».

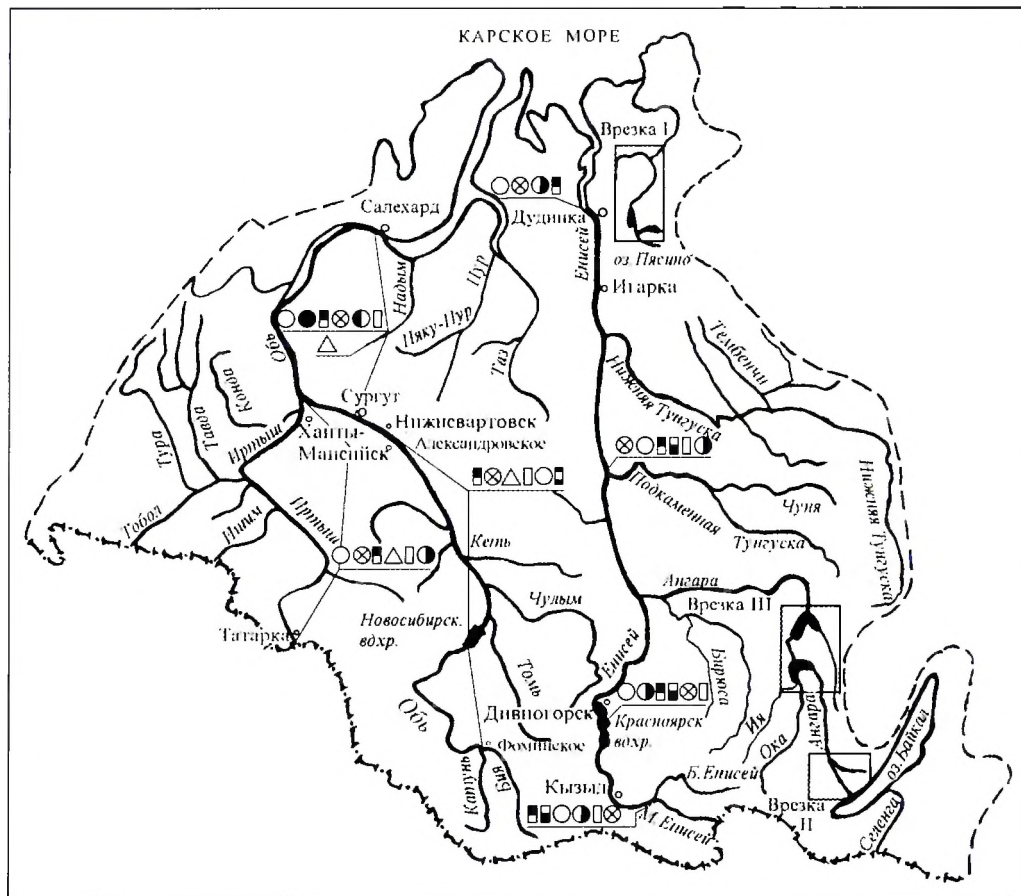


Рис. 7.13. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде водных объектов бассейнов р. Обь и р. Енисей за период 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.13

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК): 1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Обь, с. Фоминское — с. Александровское				р. Енисей, г. Кызыл			
НФПР	1–45	<1–18	1–12	НФПР	8–13	4–7	2–4
Fe	<1–7	<1–5	<1–7	Al	—	1,5–3	<1–3
N-NH ₄	<1–3	<1–6	<1–4	Cu	6–13	3–7	1–6
Фенолы	1–114	<1–9	<1–6	Zn	3–4	3–5	1–7
Cu	0–10	0–25	0–11	Fe	<1–4	3–4	2–4
Hg	<1–21	<1–1	<1–1	Красноярское вдхр.			
р. Обь, г. Нижневартовск — г. Салехард				Cu	5–22	3–16	0–13
Cu	<1–25	2–60	2–200	Zn	2–5	2–6	2–6
Mn	—	2–51	2–72	НФПР	3–12	3–14	1–10
НФПР	6–30	4–197	1–33	Al	—	1–6,5	<1–3
Fe	1–13	6–33	4–26	Fe	<1–2	<1–3	1–9
Фенолы	1–26	0–18	1–6	Фенолы	<1–4	<1–2	<1–5
N-NH ₄	<1–3	1–7	1–4				

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Иртыш, с. Татарка — г. Ханты-Мансийск				р. Енисей, г. Дивногорск — г. Игарка			
Cu	2–41	6–30	3–39	Fe	<1–7	<1–6	1–12
Fe	<1–19	1–22	1–17	Cu	4–112	3–18	10–12
НФПР	5–114	1–94	<1–15	НФПР	5–17	1–12	1–10
N-NH ₄	<1–2	<1–5	<1–3	Al	-	<1–7	<1–7
Фенолы	<1–17	<1–17	1–7	Фенолы	<1–12	<1–5	<1–5
Zn	<1–17	2–37	<1–7	Zn	1–13	1–6	<1–5
р. Енисей, г. Дудинка							
Cu	4–10	3–11	5–16	Фенолы	<1–3	<1–3	2–5
НФПР	1–7	<1–15	<1–5	Zn	<1–1	<1–3	<1–1
Fe	<1–3	1–7	<1–2				

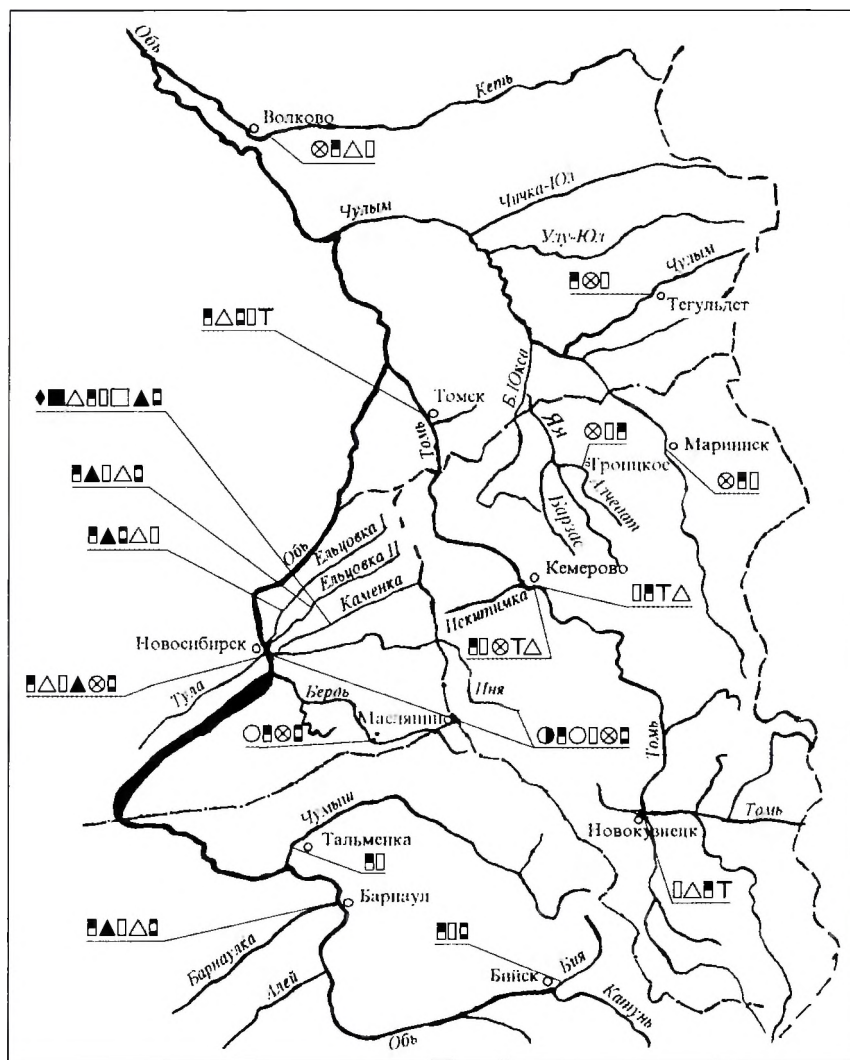


Рис. 7.14. Карта-схема распределения загрязняющих веществ в воде водных объектов бассейна р. Обь на территории Новосибирской, Кемеровской, Томской областей, Алтайского края за период 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.14

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Бия, г. Бийск				р. Эльцовка II, г. Новосибирск			
НФПР	5–11	1–12	1–4	НФПР	7–13	6–26	3–10
Фенолы	<1–3	1–2	2–4	N-NO ₂	4–11	4–6	3–4,5
Hg	<1–11	<1–1	<1–2	Фенолы	4–9	<1–19	1–3
р. Барнаул, г. Барнаул				N-NH ₄	4–6	1–7	2–4
НФПР	4–7	8–12	6–9	Hg	<1–19	<1–11	<1
N-NO ₂	2–7	2–6	1–3	р. Иня			
Фенолы	1–6	1–3	2–4	Zn	<1–10	<1–4	<1–11
N-NH ₄	3–4	2–4	2–3	НФПР	2–13	4–15	2–12
Hg	<1–24	<1–6	<1–1,7	Cu	<1–10	<1–22	<1–16
Fe	<1–4	3–12	3–8	Фенолы	<1–12	<1–8	1–12
р. Бердь, пгт Маслянино				Hg	<1–1	<1–1	<1
НФПР	6–32	7–21	4–11	р. Томь, г. Новокузнецк			
Фенолы	<1–15	1–4	<1–5	Фенолы	2–11	1–6	2–4
р. Чумыш, пгт Тальменка				НФПР	6–16	1–10	1,5–4
НФПР	3–14	7–12	2–7	Формальдегид	<1–1	<1	<1–1
Река Тула, г. Новосибирск				р. Томь, г. Кемерово			
НФПР	4–24	4–22	4–19	Фенолы	1–6	3–7	2–6
N-NH ₄	3–5	1–7	3–4	НФПР	6–11	3–6	2–4
N-NO ₂	2–5	1–2	1–2	Формальдегид	<1	<1	<1
Фенолы	2–8	1–6	1–4	р. Томь, г. Томск			
Hg	<1–5	<1–3	<1–1	НФПР	5–9	7–9	7–12
р. Каменка, г. Новосибирск				Фенолы	1–8	1–3	1–2
Сульфиды и сероводород	<0,00001	0,00001-	0,0010-	Формальдегид	<1	<1	<1
		0,0056	0,0040	Hg	<1–13	<1–2	<1–2
Растворен. O ₂	1,23–3,56	0,71–1,21	0,86–1,41	р. Искитимка, г. Кемерово			
N-NH ₄	8–11	8–12	11–18	Фенолы	3–9	5–6	2–8
N-NO ₂	4–8	3–5	4–6,5	НФПР	6–10	3–9	3–4
БПК ₅ (O ₂), мг/л	0,58–13,8	0,97–9,25	9,15–12,4	Формальдегид	<1–1	<1	<1
Фенолы	3–11	1–7	2–7	Река Чулым, с. Тегульдэт			
НФПР	4–10	4–19	3–10	НФПР	6–13	8–17	6–16
Hg	<1–4	1–5	<1–1	Фенолы	1–7	1–4	<1–3
р. Эльцовка I, г. Новосибирск				р. Алчедат, с. Троицкое			
НФПР	5–18	6–20	4–18	Фенолы	4–9	5–7	6–16
N-NO ₂	5–13	5–8	8–15	НФПР	6–13	5–10	2,5–8
N-NH ₄	2–7	1–5	3–5	р. Кия, г. Мариинск			
Фенолы	3–9	<1–7	1–5	Фенолы	5–13	5–11	2–7
Hg	<1–4	<1–1	<1	НФПР	5–12	3–7	2,5–4
				р. Кеть, д. Волково			
				НФПР	4–12	6–12	4–9
				Фенолы	2–34	<1–2	1–2

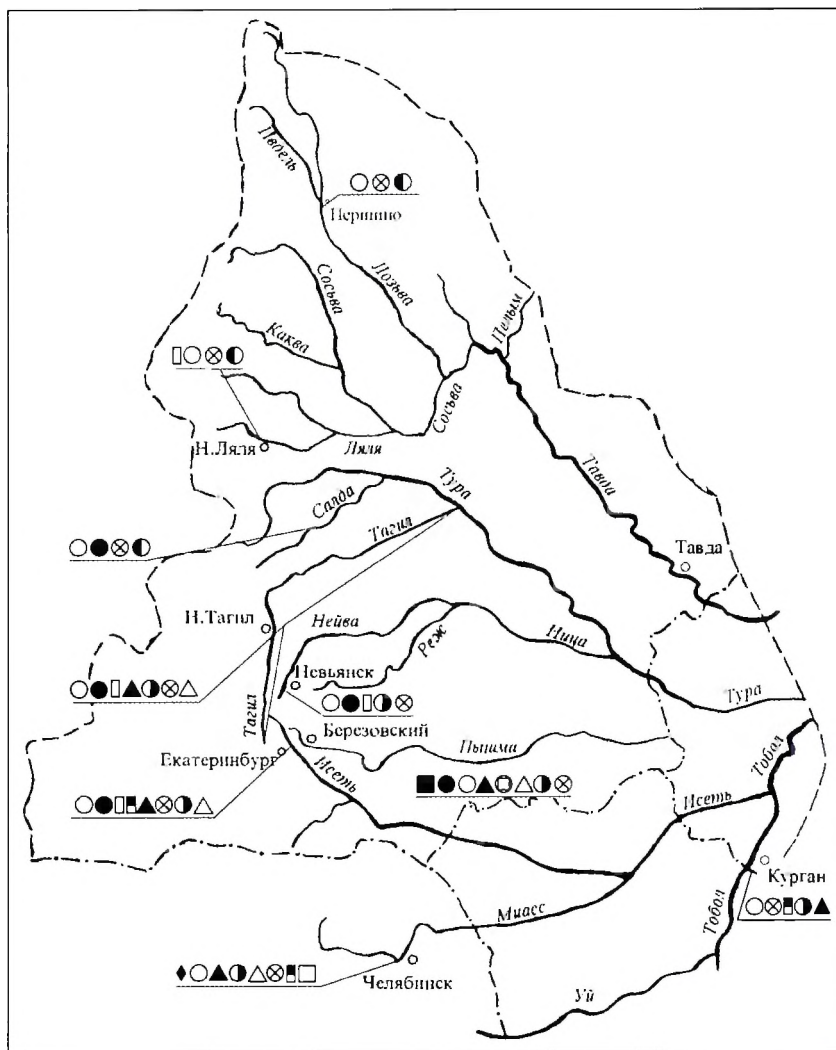


Рис. 7.15. Карта-схема распределения загрязняющих веществ в воде водных объектов бассейна р. Обь на территории Свердловской, Челябинской и Курганской областей за период 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.15

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
	р. Исеть, г. Екатеринбург				р. Тагил		
Cu	20–202	17–67	11–35	Cu	21–128	15–117	13–38
Mn	14–32	13–30	5–47	N-NO ₂	<1–30	<1–7,5	<1–7
Фенолы	<1	<1–3	<1–12	Zn	3–27	1–15	2–5
НФПР	2–50	1–14	<1–36	N-NH ₄	<1–7	<1–3,5	<1–3
N-NO ₂	<1–25	<1–9	<1–10	Fe	<1–8	3–7	1–5
Fe	6–86	3–11	2–5	Mn	5–64	6–60	2,5–19
Zn	3–17	2–9	2–5				
N-NH ₄	1–8	<1–5	<1–3,5				

Окончание табл. к рис. 7.15

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Миасс				р. Нейва			
Сульфиды и сероводород	<0,00011-0,7970	<0,00001-0,5350	<0,00001-0,0180	Cu	15–83	15–117	8–43
N-NO ₂	<1–15	<1–48	<1–32	Mn	7–73	4–130	2–56
N-NH ₄	<1–18	<1–18	<1–19	Фенолы	<1	<1–2	<1–6
НФПР	<1–19	<1–11	<1–10	Zn	1–22	1–14	1–7
Fe	<1–18	1–14	<1–8	Fe	<1–10	<1–6	1–5
БПК ₅ (O ₂), мг/л	1,11–17,3	1,19–14,1	1,20–5,96	р. Пышма			
р. Тобол, г. Курган				Mn	10–26	7–39	2–62
Cu	13–38	14–37	7–20	Растворен. O ₂	0,96–2,08	1,34–3,34	0,16–1,02
Zn	2–4	2–4	1–2	Cu	3–86	5–70	3–42
НФПР	2–16	1–11	1–4	N-NO ₂	<1–24	<1–9	<1–11
N-NO ₂	<1–3	<1–9	<1–8	Ni	<1–24	<1–16	<1–12
р. Салда, д. Прокопьевская Салда				N-NH ₄	<1–8	<1–8	<1–6
Cu	165–264	67–211	38–126	Zn	<1–25	2–12	1–5
Mn	26–52	21–82	19–39	Fe	<1–12	<1–14	1–10
Fe	13–29	9–28	1–17	р. Ляля, г. Новая Ляля			
Zn	18–32	7–18	5–8	Cu	10–23	15–38	12–21
				Фенолы	<1–18	<1–30	<1–20
				Fe	1,5–13	4–7	4–9
				Zn	1,5–2,5	3–5	2–3

Наиболее высоким уровень загрязненности воды реки был в 1992 г., когда вода оценивалась как «очень грязная». Содержание соединений меди и нефтепродуктов в воде реки было близко к критическому уровню загрязненности.

Качество воды **Саяно-Шушенского водохранилища** у м. ст. Усть-Уса низкое. Вода относится к разряду «грязных» вод. Соединения меди, цинка, алюминия, в отдельные годы к ним добавлялись фенолы и нефтепродукты, выделялись в качестве критических показателей.

Неустойчив, но наиболее высок уровень загрязненности воды **Красноярского водохранилища** в районе р. п. Усть-Абакан. Класс качества воды в течение 1992–2005 гг. периодически изменялся в пределах 3-го и 4-го.

Качество воды р. Енисей в 35 км ниже г. Красноярск, в основном, характеризовалось разрядом «а» 4-го класса, в отдельные годы (1997, 2000 гг.) — разрядом «б» 3-го класса. Превышение ПДК ксантогенатами, являющимися критическим показателем в створах «5 км и 35 км ниже г. Красноярск», определяли в половине отобранных проб воды.

Для большинства притоков в верхнем течении р. Енисей общий уровень загрязненности воды характеризовался 3-м классом обоих разрядов. В сред-

нем течении р. Енисей наиболее загрязнены притоки: **Кача, Кан, Сыда, Джебь, Уярка, Илань, Туим** (4-й класс качества воды).

Качество воды **Иркутского водохранилища** определяется составом байкальских вод, являвшихся основным источником формирования водной массы водоема, а также влиянием судоходства и сточных вод с очистных сооружений п. Листвянка (санаторий «Байкал» и комплекс Лимнологического института СО Российской АН), рекреационной деятельностью в районе водохранилища. В течение рассматриваемого периода вода в районе г. Братск в створе «0,2 км выше ОАО «Братсккомплексхолдинг», в основном оценивалась как «слабо загрязненная», в отдельные годы: 1977, 2001–2003 гг. и в 2000 г. — как «загрязненная» либо «очень загрязненная» и «условно чистая».

Качество воды Братского водохранилища оценивалось в диапазоне от «условно чистой» до «загрязненной». Основными загрязняющими веществами являлись лигнин в отдельных створах, соединения меди и ртути. В контрольных створах г. Братск определяли в воде, кроме основных загрязняющих веществ, специфические: лигнин, формальдегид.

Усть-Илимское водохранилище отличается неоднородным гидрологическим режимом на разных

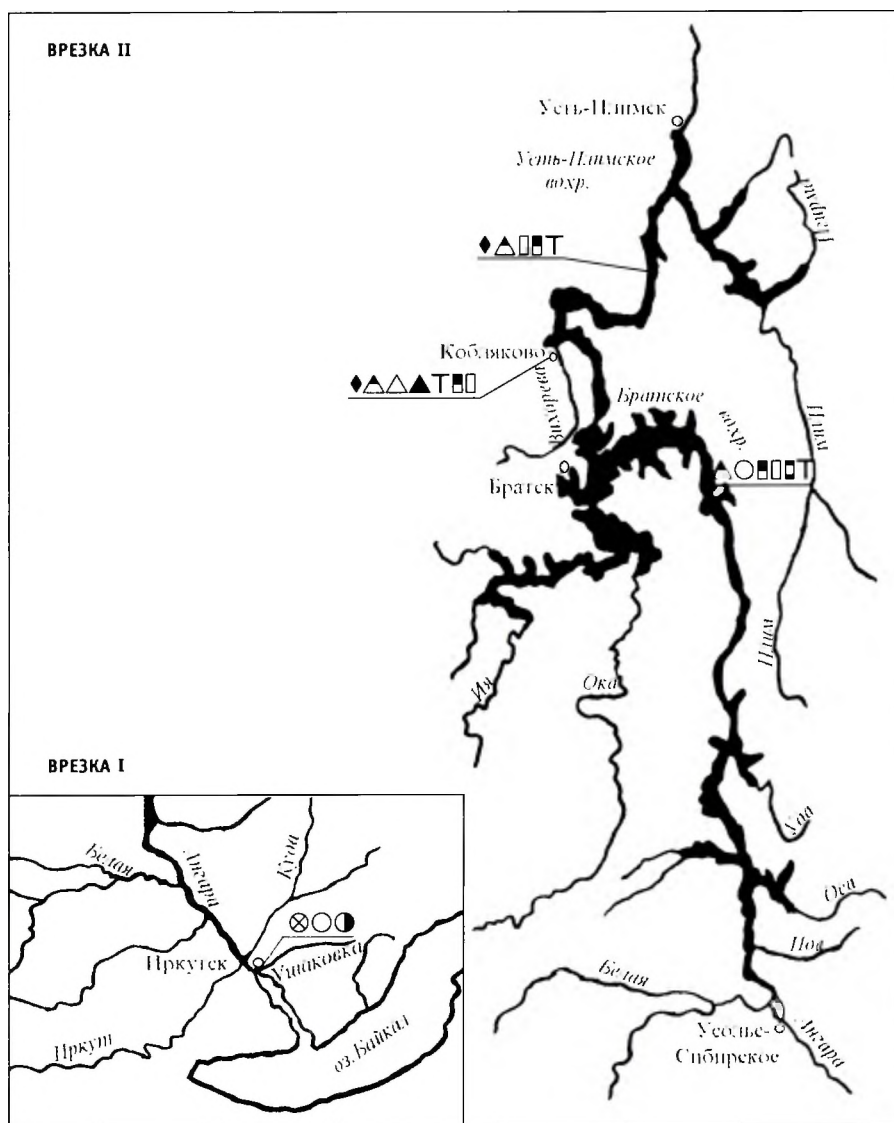


Рис. 7.16. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде некоторых водных объектов бассейна р. Енисей в районе расположения наиболее крупных промышленных предприятий Восточной Сибири за период 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.16

**Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.**

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
Братское вдхр. (р. Ангара)							
Лигнин	<–7,5	2,5–9,7	1–7	НФПР	<1–21	<1–12	<1–12
Си	<1–6	<1–4	<1–3	Hg	<1–11	<1–20	<1–1
Фенолы	<1–4	<1–10	<1–4	Формальдегид	<1–8	<1–1	<1

Окончание табл. к рис. 7.16

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Вихорева, с. Кобляково				р. Ушаковка, г. Иркутск			
Сульфиды и сероводород	0,0040-	0,0260-	0,0030-	Fe	<1–4,5	<1–4	<1–5
	0,0510	0,0410	0,0230	Cu	<1–4	<1–5	<1–4
Лигнин	19–75	56–71	7,4–30	Zn	<1–1	<1	<1–3
Формальдегид	1,5–20	2–6	1,4–2,5	Усть-Илимское вдхр. (р. Ангара)			
Fe	1–6	8–13	3–7	Сульфиды и сероводород	<0,0001–	<0,0001–	0,0001–
N-NH ₄	2,5–6	2–5	3–4	Лигнин	1–23	3–25	1–20
N-NO ₂	<1–2	1–3	3–7	Формальдегид	<1–9	<1–2	<1–1,8
НФПР	1,5–6	3–6	1–9	Фенолы	<1–3	<1–5	<1–5
Фенолы	<1–6	1–6	1–7	НФПР	1–16	<1–7	<1–17

участках. Объем воды в нем формируется, в основном, за счет сбросов через Братскую ГЭС, в связи с чем и качество воды верхней части Усть-Илимского водохранилища определяется содержанием загрязняющих веществ, поступающих из Братского водохранилища в первый входной створ «0,5 км ниже плотины Братской ГЭС» в районе п. Энергетик. На протяжении ряда лет наиболее загрязненным створом в Усть-Илимском водохранилище являлся залив р. Вихоревой, на который неблагоприятное влияние оказывала р. Вихорева, куда сбрасывались сточные воды ОАО «Братсккомплексхолдинг», хозяйственные сточные воды г. Братск. В течение 1991–2005 гг. в створе «24,5 км выше п. Седаново» (с. Усть-Вихорево) наблюдалось устойчивое загрязнение воды экстремально высокого уровня сульфидами и сероводородом, до 0,0030–0,0045 мг/л, высокого — лигнином (1991, 1992, 1997–2002 гг.), до 10–49 ПДК, экстремально высокого (1995, 1996 гг.), до 50–64 ПДК. В 1993, 1994, 2003, 2005 гг. содержание лигнина было повышенным и составляло 5–8 ПДК.

В нижнем течении р. Ангара на территории Красноярского края у с. Богучаны уровень загрязненности воды реки в 1992–2004 гг. был устойчив, вода относилась к 4-му классу «грязных» вод, в 2005 г. произошло улучшение качества воды до 3-го класса. Максимальное содержание соединений цинка в воде всех трех створов (с. Богучаны, д. Татарка, с. Проспихино) на р. Ангара в 2005 г. не достигало уровня высокого загрязнения.

Загрязненность воды притоков р. Ангара на территории Иркутской области стабильна, преобладающими в бассейне р. Ангара были воды 2-го класса. Для рек, протекающих по территории Иркутской области, ингредиентов, достигших крити-

ческого уровня, не было; исключением была р. Вихорева, являющаяся самым загрязненным притоком, основными источниками загрязнения которой были сточные воды ОАО «Целлюлозно-картонный комбинат» и МП ЖКХ г. Братск. Уровень загрязненности воды реки у с. Кобляково высок, качество воды крайне низкое. По комплексной оценке качество воды реки у с. Кобляково характеризовалось 5-м классом качества в 2001 и 2003 гг., 4-м классом разряда «в» в 1996, 1997, 2002, 2004, 2005 гг., в остальные годы описываемого периода — разрядами «а» и «б» 4-го класса.

Основными загрязняющими веществами воды р. Вихорева в рассматриваемый период являлись сульфиды и сероводород, лигнин, формальдегид, соединения железа.

Качество воды большинства притоков р. Ангара на территории Красноярского края характеризуется 4-м классом разряда «а», рек **Тасеева**, **Карабула**, **Татарка** — 3-м классом разрядов «а» и «б».

Бассейн р. Лена

Река Лена — одна из самых больших водных артерий России, среди рек по длине (4400 км) и площади водосбора (2488 км²) она занимает соответственно второе и третье место. Резко континентальный климат, длительный период ледостава, наличие многомерзлотных пород, нередко выступающих в роли водоупора, и низкая самоочищающая способность непосредственно влияют на гидрохимический режим поверхностных вод р. Лена и рек ее бассейна.

Качество поверхностных вод бассейна р. Лена формируется под влиянием сброса недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод промышленных предприятий золото- и алмазодобывающей

промышленности, предприятий энергетики, объектов водного транспорта, портов, нефтебаз, судовой верфей, очистных сооружений городов и населенных пунктов.

В воде р. Лена в целом из загрязняющих веществ доминируют соединения меди. Повышенное содержание соединений меди отмечалось в воде среднего течения реки, в течение 1990–2005 гг. среднегодовые концентрации варьировали от 5 до 12 ПДК, максимальные — от 10 до 23 ПДК, что обусловлено природными факторами — растворимостью минералов, выстилающих русло рек и содержащих металлы в своем составе. В отдельных пунктах контроля соединения меди являлись критическим показателем загрязненности воды.

Содержание соединений меди, фенолов превышало ПДК в 30–90% и 40–67% проб воды. В течение 1990–2005 гг. вода р. Лена в 20–29 створах оценивалась в диапазоне 2–3-го класса качества как «слабо загрязненная» — «очень загрязненная», в фоновом створе р. п. Качуг — 2-м классом качества как «слабо загрязненная»; наиболее загрязнена вода реки у г. Олекминск (4-м класс качества разряд «а»).

Для притоков Лены (реки Киренга, Кунерма, Мама, Жуя, Кута, большинство притоков Витима) характерно содержание в воде в пределах величин ниже ПДК–4 ПДК соединений меди, железа.

Бассейн р. Алдан

Среднегодовые концентрации большинства загрязняющих веществ в воде бассейна р. Алдан варьировали в пределах величин ниже 1–3 ПДК. Повторяемость случаев превышения ПДК соединениями меди отмечалась в 100%, фенолами, легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), соединениями железа в отдельных створах реки варьировала от 50 до 71%. Вода р. Алдан по качеству изменялась от «загрязненной» до «очень загрязненной» и оценивалась 3-м классом разрядами «а» и «б». Критические показатели загрязненности воды отсутствовали.

Бассейн р. Вилюй

Вода р. Вилюй и рек его бассейна по качеству в течение ряда лет существенных изменений не претерпевала и оценивается как «загрязненная» и «очень загрязненная» 3-го класса разрядов «а» и «б».

Бассейн рек Яна, Индигирка

Качество воды рек бассейнов Яна и Индигирка в течение 1990–2005 гг. существенных изменений не претерпело. Вода оценивается 3-м классом качества разрядов «а» и «б» как «загрязненная» и «очень загрязненная». Среднегодовые концентрации большинства загрязняющих веществ в воде варьировали в пределах величин ниже 1–7 ПДК. Повышенному уровню загрязненности воды соединениями меди, как и в других районах Якутии, способствовали природные факторы.

Бассейн р. Колыма

Основными источниками загрязнения поверхностных вод бассейна р. Колыма являются сточные воды предприятий золотодобывающей промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, а также поверхностный сток с неблагоустроенных территорий населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий в периоды повышенной водности рек.

Для воды рек бассейна Колымы характерно повышенное содержание нефтепродуктов, соединений железа, меди, свинца, марганца. Концентрации большинства загрязняющих веществ варьирует в пределах 1–3 и 1–12 ПДК.

Повторяемость случаев превышения ПДК соединениями меди, фенолами, в отдельных створах нефтепродуктами, соединениями марганца, свинца, железа, ртути, легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) составляла 50–100%.

Бассейн р. Амур

Бассейн р. Амур имеет хорошо развитую речную сеть. Анализ накопленной за 15-летний период информации о химическом составе поверхностных вод и его изменениях показывает, что поверхностные воды всех речных и озерных бассейнов в системе р. Амур относятся к водосборам, для которых характерна невысокая, средняя минерализация воды по классификации О. А. Алекина и преобладание гидрокарбонатных ионов. Среди катионов превалировал кальций, реже натрий и магний.

Дополнительно к природным факторам формирования водные объекты бассейна р. Амур испытывали большую антропогенную нагрузку. Основные источники загрязнения сосредоточены на территориях Читинской, Амурской областей и Хабаровского края.

Химический состав поверхностных вод бассейна р. Амур, формирующий в физико-географических условиях Дальневосточного региона, характеризовался в течение 1991–1995 гг. присутствием в воде большого числа ингредиентов, по которым фиксировались нарушения нормативных требований по содержанию в поверхностных водах, непостоянством количества и перечней загрязняющих веществ, значительной вариабельностью их концентраций как во временном, так и в пространственном аспектах, неопределенностью их внутригодового режима.

За период 1992–2005 гг. в бассейне р. Амур обнаруживались воды шести качественно различных состояний — «слабо загрязненные», «загрязненные» и «очень загрязненные», «грязные» и «очень грязные», «экстремально грязные». Здесь присутствовали воды практически всей шкалы качества — от 2-го до 5-го классов. «Условно чистые» воды 1-го класса не отмечались ни в одном створе ни одного водного объекта за весь анализируемый период. Превалировали в бассейне с 1992 по 1999 гг. «грязные» воды 4-го класса, начиная с 2000 г. — «загрязненные» воды 3-го класса. Тенденция снижения во временном аспекте распространенности в бассейне р. Амур в целом вод 4-го класса качества разрядов «а» и «б», оцениваемых как «грязные», проявилась в уменьшении числа створов наблюдений, в которых фиксировалась вода такого качества, от 62–77% в 1992–1996 гг. до 49–62% в 1997–1999 гг., 34–42% в 2000–2001 гг., 27–37% в 2002–2003 гг. В 2004–2005 гг. этот процесс приостановился, и в 2005 г. «грязные» воды 4-го класса качества обнаруживались уже в 46% створов. В отдельных малых водотоках либо на их участках практически ежегодно фиксировались «экстремально грязные» воды 5-го класса качества. Как правило, это районы многолетнего чрезвычайно высокого антропогенного загрязнения.

Значения комбинаторного индекса загрязненности воды в пределах бассейна р. Амур варьировали в течение 1992–2005 гг. от минимальных значений в диапазоне 1,31–2,23 до максимальных 5,68–7,92.

Комплексная оценка загрязненности воды показала, что в 2005 г. в бассейне р. Амур наблюдали воды пяти качественно различимых состояний — «загрязненные», «очень загрязненные», «грязные», «очень грязные» и «экстремально грязные» (3-й, 4-й и 5-й классы качества). Превалировали в бассейне «очень загрязненные» воды 3-го класса раз-

ряда «б» (33% створов наблюдений) и «грязные» 4-го класса разряда «а» (40% створов). Реже (в 16% створов наблюдений) определяли «загрязненные» воды 3-го класса разряда «а». Лишь в единичных створах рек Чита, Аргунь (протока Прорва), Черная (Хабаровский край), Левая Силенка отмечали «очень грязные» воды 4-го класса разрядов «в» и «г» и «экстремально грязные» воды 5-го класса качества (реки Березовая, Спасовка, Кулешовка, Дачная).

Река Амур — одна из крупнейших рек Дальнего Востока. Наблюдения за гидрохимическим режимом воды р. Амур осуществлялись в районе семи населенных пунктов, начиная от с. Черняево Амурской области и заканчивая участком реки в районе г. Николаевск-на-Амуре Хабаровского края.

Вода собственно р. Амур, с учетом комплекса изучаемых ингредиентов и показателей качества, ежегодно в течение пятнадцатилетнего временного отрезка с 1991 по 2005 г. оценивалась преимущественно как «грязная» и относилась к 4-му классу качества разрядов «а» и «б». С 1991 по 2002 г. «грязная» вода стабильно регистрировалась в р. Амур в 71–94% створов наблюдений.

В течение четырех лет (1996–1998 гг.) дополнительно к этому фону на ряде участков реки в районе городов Амурск и Комсомольск-на-Амуре, а также у с. Богородское (1999 г.) в контрольных створах фиксировалась «очень грязная» вода разряда «в» 4-го класса качества. Значения УКИЗВ были достаточно высокими для столь крупного водного объекта и составляли 3,33–6,22.

На участке р. Амур, начиная от г. Хабаровск вплоть до устья, в районе городов Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре, Николаевск-на-Амуре и с. Богородское, т. е. в местах хронического высокого загрязнения воды реки, в течение 1995–2005 гг. существенного снижения загрязненности не отмечалось. Однако в 2004 и 2005 гг. наибольшие для р. Амур значения УКИЗВ относились к наименьшим из максимальных в 15-летнем ряду и составляли 5,18 (2004 г. — 5 км ниже г. Комсомольск-на-Амуре) и 5,38 (2005 г. — 6 км выше г. Комсомольск-на-Амуре). Такого же уровня максимальные для р. Амур значения УКИЗВ фиксировались лишь в 1995 г. — 5,15 в черте г. Комсомольск-на-Амуре и 5,34 в створе 7,5 км к западу от г. Хабаровск.

Начиная с 2003 г. отмечалось некоторое снижение количества створов (до 47–65%), в которых вода оценивалась как «грязная», сопровождавшееся рос-

том числа створов с менее загрязненной водой 3-го класса, которая наблюдалась в эти годы уже в 35–47% створов. Одновременно регистрировалось уменьшение минимальных для реки значений УКИЗВ от 3,33–3,78 в 1992–2000 гг. до 1,61–2,08 в 2001–2005 гг. (в 2004 г. 3,04). Наименьшие за весь 15-летний период значения УКИЗВ — 1,61 в 2003 г. и 2,03 в 2005 г. — отмечались в пункте 0,5 км выше г. Черняево. Здесь, на небольшом участке верхнего Амура, с 2001 по 2005 г., фиксировалась минимальная для р. Амур загрязненность воды комплексом присутствующих в воде химических веществ. По качеству вода относилась ко 2-му (2001 и 2003 гг.) и 3-му (2002, 2004–2005 гг.) классам и оценивалась как «слабо загрязненная» и «загрязненная». Однако анализ комплексных показателей за предшествующие годы показал, что прежде вода и на этом участке отличалась достаточно высокой загрязненностью, соответствовала по качеству 4-му классу преимущественно разряда «а» и оценивалась как «грязная».

В ноябре 2005 г. имел место трансграничный перенос нехарактерных для р. Амур загрязняющих веществ со стороны Китая со стоком крупнейшего правобережного притока Амура р. Сунгари в результате крупной аварии, произошедшей на нефтехимическом предприятии в провинции Цзилинь (КНР). При отслеживании перемещения зоны загрязнения к г. Хабаровск среди загрязняющих веществ, попавших в р. Сунгари в результате аварии, выделялся, как наиболее опасный, нитробензол. Остальные загрязняющие компоненты не оказывали негативного влияния на качество речной воды.

Выход зоны загрязнения нитробензолом из р. Сунгари в р. Амур зафиксирован 15 декабря, у с. Нижнеленинское — в ночь на 17 декабря. Максимальных значений его концентрация достигала 18 декабря, несколько превысив ПДК для питьевого водоснабжения. На этом участке зона загрязнения была сконцентрирована у правого берега. Смещаясь вниз по течению, концентрации в воде нитробензола существенно уменьшались вследствие распределения зоны загрязнения по всей ширине потока по мере перемешивания сунгарийской и амурской воды, разбавления за счет притоков р. Амур и повышенных сбросов воды из водохранилищ в бассейне р. Сунгари, оседания загрязняющих веществ на льду и дне реки.

Наиболее загрязнена р. Амур по комплексу характерных для реки ингредиентов химического состава воды на участке г. Амурск — г. Комсо-

польск-на-Амуре — г. Николаевск-на-Амуре. Вода р. Амур на этом участке в течение 1991–2005 гг. в основном оценивалась как «грязная» 4-го класса качества разрядов «а» и «б», в отдельные годы как «очень грязная» 4-го класса разряда «в». В 2005 г. на участке г. Амурск — г. Комсомольск-на-Амуре отмечалась повышенная по сравнению с другими участками реки загрязненность воды соединениями меди, цинка, свинца. В 90–100% проб концентрации в воде соединений меди превышали ПДК в среднем по участку в 14–19 раз, в створе в черте г. Амурск — в 31 раз. Максимальные для створов разовые концентрации соединений меди были близки или соответствовали уровню высокого загрязнения и составляли 29–32 ПДК, в створах в черте и 1 км ниже г. Амурск соответствовали уровню экстремально высокого загрязнения — 95 и 52 ПДК. Всего на этом участке в 2005 г. регистрировали 4 случая высокого и 2 случая экстремально высокого загрязнения воды р. Амур соединениями меди, обусловленные совокупностью природных факторов, загрязнением техногенного характера, а также неконтролируемым поступлением с диффузным сбросом с водосбора и привносом соединений металлов за счет внутриводоемных процессов и вторичного загрязнения в местах сосредоточенного сброса сточных вод.

За период с 1991 по 2005 г. прослеживается рост концентраций соединений меди в воде р. Амур на этом участке и нарушений нормативных требований. На рис. 7.17 показано распределение наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде водных объектов на территории Амурской области и Хабаровского края в течение 1991–2005 гг.

В течение 15 лет, начиная с 1991 г. по настоящее время, в р. Амур по всей длине с различной периодичностью обнаруживали загрязненность воды фенолами. В начале периода (1991–1996 гг.) повторяемость случаев превышения ПДК по фенолам в воде р. Амур колебалась в максимально возможном диапазоне от полного отсутствия фенолов в единичных пробах воды в некоторых створах до обнаружения концентраций выше ПДК в каждой пробе воды. Начиная с 1997 г. распространенность загрязнения воды фенолами возрастает, что характеризуется увеличением повторяемости случаев превышения ПДК до 40–100% и дальнейшей ее стабилизацией во все последующие годы в среднем для р. Амур в пределах 85–90%. Среднегодовые концентрации фенолов в воде р. Амур варьировали с 1991 по 2005 гг., как правило, от ниже 1 ПДК до 14 ПДК. В нижнем те-

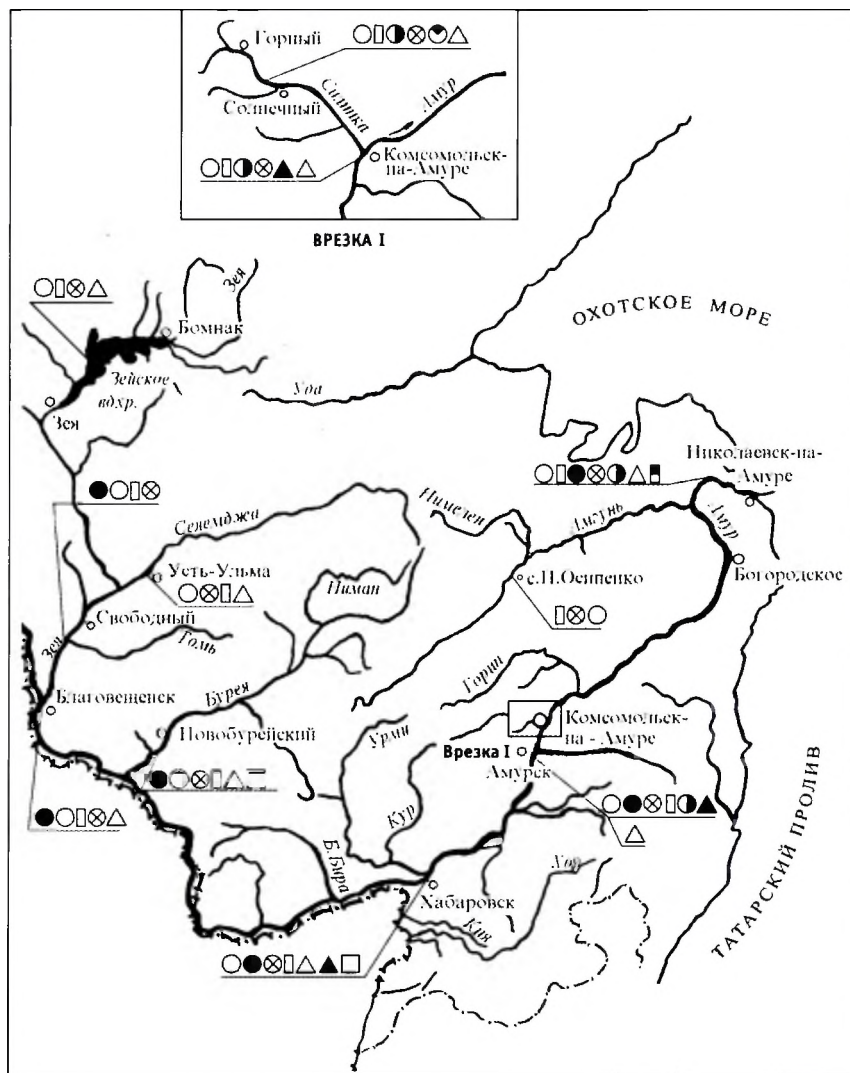


Рис. 7.17. Карта-схема распределения наиболее распространенных загрязняющих веществ в воде водных объектов на территории Амурской области и Хабаровского края в течение 1991–2005 гг. (условные обозначения см. рис. 7.3)

Таблица к рис. 7.17

Изменение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ по периодам (в ПДК):
1991–1995 гг.; 1996–2000 гг.; 2001–2005 гг.

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Амур, г. Благовещенск — с. Черняево				р. Зeya, г. Свободный — г. Благовещенск			
Mn	—	4–19	8–15	Mn	—	19–24	10–15
Cu	<1–18	<1–10	<1–5	Cu	<1–7	<1–11	1–5
Фенолы	<1–8	2–14	2–5	Фенолы	<1–6	3–17	2–5
Fe	<1–3	5–12	<1–5	Fe	<1–4	6–12	1–5
N-NH ₄	<1–2	<1–2	<1–2				
Zn	<1–6	1–8	<1–1				

Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	Загрязняющие вещества	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
р. Амур, протока Амурская — г. Хабаровск				р. Силинка (Левая Силинка), п. Горный — г. Солнечный			
Mn	—	3–20	7–17	Cu	2–40	6–46	6–66
Cu	1–10	1–12	3–10	Фенолы	<1–36	1–9	2–13
Fe	<1–6	5–18	5–10	Zn	3–116	1–100	2–14
Фенолы	<1–6	<1–11	2–7	Fe	<1–3	<1–5	<1–7
Zn	1–5	<1–12	<1–3	Pb	<1–2	1–4	1–17
N-NH ₄	<1–4	<1–3	<1–2	N-NH ₄	<1–2	<1–1	<1–3
N-NO ₂	<1–2	<1–2	1–2	р. Силинка (Левая Силинка), г. Комсомольск-на-Амуре			
БПК ₅ (O ₂), мг/л	1,14–4,79	1,34–4,08	1,89–3,16	Cu	3–36	2–11	7–22
р. Амур, г. Амурск — г. Комсомольск-на-Амуре				Фенолы			
Cu	1–12	6–25	7–31	Zn	3–9	2–6	2–6
Mn	—	15–22	9–20	Fe	<1–3	<1–5	1–4
Fe	<1–5	6–13	3–10	N-NH ₄	<1–2	<1–1	<1–3
Фенолы	<1–17	2–12	3–8	N-NO ₂	<1–<1	<1–<1	<1–2
Zn	<1–9	1–8	2–6	р. Селемджа, с. Усть-Ульма			
N-NH ₄	<1–2	<1–1	<1–3	Cu	<1–2	<1–5	<1–5
N-NO ₂	<1–1	<1–2	<1–4	Fe	<1–5	3–9	2–6
р. Амур, с. Богородское — г. Николаевск-на-Амуре				Фенолы			
Cu	4–26	1–34	2–15	N-NH ₄	<1–2	<1–2	<1–4
Фенолы	<1–31	2–22	3–15	р. Буряя, пгт Новобурейский			
Mn	—	6–11	7–19	Mn	—	7–16	9–24
Fe	<1–3	5–19	5–13	Cu	1–13	<1–10	<1–6
Zn	<1–25	<1–14	1–6	Fe	<1–7	7–15	2–13
N-NH ₄	<1–4	<1–3	1–2	Фенолы	<1–5	<1–15	3–9
НФПР	<1–2	<1–<1	<1–4	N-NH ₄	<1–3	<1–2	<1–2
вдхр. Зейское, с. Бомнас — г. Зeya				БПК ₅ (O ₂), мг/л			
Cu	1–5	3–9	1–6	1,20–4,30	2,18–4,68	2,04–3,85	
Фенолы	3–13	4–15	3–10	р. Амгунь, с. Полины Осипенко			
Fe	<1–6	2–5	1–6	Фенолы	<1–9	3–15	1–20
N-NH ₄	<1–3	<1–2	<1–2	Fe	<1–3	7–21	7–16
				Cu	<1–17	<1–2	1–9
				Zn	<1–3	<1–3	<1–3

чении, на участке с. Богородское — г. Николаевск-на-Амуре, периодически (1992, 1993, 1996, 1999, 2005 гг.) среднегодовые концентрации фенолов в воде р. Амур были существенно выше и варьировали по створам в пределах 15–31 ПДК. В 1992 г. повышенные среднегодовые концентрации в воде фенолов (15–17) ПДК отмечали и на участке г. Амурск — г. Комсомольск-на-Амуре.

Загрязненность р. Амур фенолами характеризовалась периодическим обнаружением в воде разовых концентраций высокого или экстремально высокого уровней. На участке от г. Хабаровск и ниже по течению в 1991–1993 гг. в 1–3% проб в реке регистрировали многочисленные случаи экстремально высокого загрязнения воды фенолами

в диапазоне 54–98 ПДК. С 1994 г. уровень максимальных концентраций фенолов в воде р. Амур несколько снизился, оставаясь по-прежнему достаточно высоким. Так, в 3–6% проб практически во всех пунктах наблюдений с 1995 по 2005 г. в р. Амур отмечали максимальные разовые концентрации фенолов в воде на уровне высокого загрязнения или близкие к ним, в пределах 28–49 ПДК. В 2001 и 2004 гг. наибольшие из определяемых в воде реки концентрации не превышали 18 и 25 ПДК соответственно.

Река Аргунь — правый приток р. Амур, протекает по государственной границе с Китаем. По степени загрязненности комплексом наиболее характерных загрязняющих веществ вода р. Аргунь в течение

практически всего 15-летнего периода оценивалась как «грязная», соответствовала 4-му классу разрядов «а» и «б» и характеризовалась значениями УКИЗВ в пределах 3,77–5,62. Исключение составили 1999 г., когда в реке не наблюдалось существенного нарушения кислородного режима и повышенного загрязнения фенолами, нефтепродуктами, легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) и другими загрязняющими веществами, и 2004 г., в течение которого отмечались повышенные концентрации в воде р. Аргунь (в пункте 0,3 км выше с. Кайластуй) легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), соединений меди, железа, а также глубокий дефицит растворенного в воде кислорода. В 1999 г. значение УКИЗВ составляло 3,38 и было ниже, чем в другие годы. Вода по качеству при этом относилась к 3-му классу разряда «б» и оценивалась как «очень загрязненная». В 2004 г. вода р. Аргунь по комплексной оценке характеризовалась как «очень грязная», соответствовала разряду «в» 4-го класса качества.

Река Шилка — левая составляющая р. Амур. К загрязняющим веществам воды реки относились соединения железа, меди, в отдельные годы фенолы и нефтепродукты. Значения УКИЗВ в течение 1991–2005 гг. варьировали в пределах 3,32–4,86. В начале анализируемого периода, вплоть до 1998 г., вода на участке у г. Сретенск по комплексным показателям оценивалась как «грязная» и соответствовала разрядам «а» и «б» 4-го класса, в 1998 г. — как «очень грязная» и относилась к разряду «в» этого же класса. С 1999 по 2005 гг. загрязненность воды р. Шилка комплексом присутствующих в ней веществ снизилась и вода реки перешла в 3 класс «загрязненных» вод.

Река Онон — правая составляющая р. Шилка. Онон и ее притоки относятся к наименее загрязненным в бассейне р. Шилка и оцениваются по комплексным показателям, начиная с 2000 г., как «загрязненные» или «очень загрязненные». В предыдущие годы (1991–1999 гг.) во всех створах наблюдений вода р. Онон относилась к 4-му классу «грязных» вод. В качестве критических выделялись от 1 до 4 параметров, в разные годы к ним относились соединения меди, железа, фенолы, нефтепродукты и легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅).

Река Ингода — левая составляющая р. Шилка. В многолетнем плане качество воды р. Ингода изменялось в пределах 3-го и 4-го классов качества. «Загрязненные» и «слабо загрязненные» воды 3-го

класса (УКИЗВ 2,24–3,66) наблюдались в основном на участке выше с. Дешулан в 1995, 2000 и 2003 гг. и ниже по течению в районе с. Красноярово. Наиболее р. Ингода была загрязнена в 1993 г., в пункте с. Красноярово, где вода оценивалась как «очень грязная», соответствовала разряду «в» 4-го класса и характеризовалась значением УКИЗВ 5,39. В остальные годы вода реки в районе с. Красноярово оценивалась как «грязная», соответствовала разрядам «а» или «б» 4-го класса, значения УКИЗВ варьировали от 3,17 до 5,07.

К наиболее загрязненным в бассейне р. Ингода относится р. **Чита**, небольшой приток р. Ингода в ее среднем течении, в зоне влияния городских очистных сооружений г. Чита, где вода многие годы по качеству соответствовала 4-му классу разряда «в» и оценивалась как «очень грязная», в 1995 г. — как «экстремально грязная» и соответствовала 5-му классу. В 2005 г. в створе 0,5 км ниже сброса сточных вод очистных сооружений зарегистрировано 4 случая высокого загрязнения воды нитритным азотом и фосфатами, среднегодовые концентрации которых превысили ПДК в 9 и 8 раз соответственно.

Поверхностные воды бассейна р. Зeya достаточны однородны по степени загрязненности. В течение многолетнего периода в бассейне р. Зeya прослеживается преимущественно тенденция улучшения качества воды водных объектов. Наблюдалось изменение в соотношении в бассейне вод 4-го и 3-го классов качества. Процент преобладания «грязных» вод 4-го класса уменьшался от 68% в 1994–1995 гг. до 53–58% в 1996–1998 гг. с резким увеличением до 84% в 1999 г. Начиная с 2000 до 2005 гг. «грязные» воды 4-го класса качества отмечались лишь в некоторых створах наблюдений на отдельных водных объектах. Преобладающими же стали воды 3-го класса качества (оцениваемые как «загрязненные»), которые фиксировали в эти годы 75–100% створов.

Река Березовая на протяжении многих лет несет в р. Амур огромное количество загрязняющих веществ. Река Березовая многие годы относится к экстремально грязным водным объектам бассейна р. Амур. В каждой пробе в 2005 г. здесь наблюдали загрязненность воды легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅), соединениями железа, меди, цинка, марганца, аммонийным и нитритным азотом, фосфатами. С мая по октябрь в реке ежемесячно фиксировали случаи дефицита или глубокого дефицита растворенного в воде кислорода. В течение года выявлено 6 случаев ВЗ

(39–49 ПДК) и 1 случай ЭВЗ (64 ПДК) воды аммонийным азотом; 4 случая ВЗ (16–34 ПДК) и 2 случая ЭВЗ (59 и 95 ПДК) фосфатами; 3 случая ВЗ (10–20 ПДК) нитритным азотом; 6 случаев ЭВЗ легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) (15,3–35,8 мг/л); 2 случая ВЗ соединениями меди (35 ПДК), 1 случай ЭВЗ соединениями марганца (35 ПДК). Среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ в воде р. Березовая в 2005 г. составляли: аммонийного азота — 44 ПДК, фосфатов — 37 ПДК, соединений марганца — 21 ПДК, меди — 18 ПДК, железа — 10 ПДК, цинка — 2 ПДК, фенолов — 11 ПДК (максимальная 22 ПДК), легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) — 25,3 мг/л, нитритного азота — 9 ПДК. Повышенные концентрации в воде р. Березовая и других водных объектов бассейна р. Амур соединений марганца обусловлены, достаточно часто, природными особенностями Дальневосточного региона. По комплексным показателям вода р. Березовая в течение 15 лет оценивалась как «экстремально грязная» и соответствовала 5-му классу качества.

В течение 15 лет в р. **Левая Силинка** и ее притоке р. **Холдоми** фиксировали высокую загрязненность воды соединениями меди, цинка, свинца. Максимальные разовые концентрации в воде соединений меди по всему течению реки соответствовали уровню ЭВЗ (54–90 ПДК в 2005 г.). Наивысшую концентрацию меди, 90 ПДК, фиксировали в створе 5,5 км ниже п. Горный 25 мая 2005 г. Наибольшие среднегодовые концентрации в воде соединений меди, 35 и 45 ПДК, имели место в створах 3 км — 5,5 км ниже п. Горный (0,5 км ниже рудника «Перевальный»).

Для р. **Амгунь** и ее притока р. **Нимелен**, а также р. **Левый Ул** характерна повышенная загрязненность воды фенолами, концентрации которых составляли в 2005 г.: среднегодовые — 19–20 ПДК, 19 ПДК, 4–13 ПДК; максимальные — 27–33 ПДК, 33 ПДК, 20–24 ПДК соответственно. В течение практически всего многолетнего периода вода этих рек с учетом комплекса присутствующих в ней химических веществ относилась в 60–80% створов к 4-му классу качества разрядов «а» и «б» и оценивалась как «грязная». Исключение составили 1998 и 2000 гг., в течение которых вода рек Амгунь, Нимелен и Левый Ул была несколько чище, оценивалась как «загрязненная», соответствовала 3-му классу качества в 60–80% створов и характеризовалась значениями УКИЗВ 2,07–3,90.

Река Усури — один из крупнейших притоков р. Амур. К характерным загрязняющим веществам поверхностных вод бассейна относятся соединения железа, меди, цинка, марганца, на территории Хабаровского края — фенолы. Качество поверхностных вод бассейна р. Усури в 1991–2005 гг. варьировало в пределах разряда «б» 3-го класса — «очень загрязненных» и разряда «а» 4-го класса — «грязных» вод.

Наибольшую степень загрязненности воды отмечали в р. **Дачная**. По качеству вода р. Дачная в течение 1992–1995 гг. и 2001–2005 гг. относилась к 5-му классу и оценивалась как «экстремально грязная», в 1996–1999 гг. — к разрядам «в» и «г» 4-го класса «очень грязных» вод.

Очень загрязненными в бассейне р. Усури являются р. **Спасовка** и р. **Кулешовка** в зоне влияния г. Спасск-Дальний. Вода этих рек относится в контрольных створах к 5-му и 4-му (разряды «в» и «г») классам качества и оценивается как «экстремально грязная».

Загрязненность поверхностных вод бассейна р. Амур в целом в течение последних 10–15 лет существенно не изменилась. К наиболее характерным загрязняющим водные объекты бассейна веществам в течение всего рассматриваемого периода, с 1991 по 2005 г., относились соединения меди (53–95% проб), железа (76–96% проб), фенолы (45–87% проб), соединения марганца (40–76% проб). Несколько реже в воде различных водных объектов бассейна р. Амур наблюдалась загрязненность соединениями цинка (37–72% проб), азотом аммонийным (36–91% проб), нефтепродуктами и легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) — (15–46% проб). Периодически (в 8–24% проб) в русловых водах фиксировалась загрязненность нитритным азотом.

В целом по бассейну с 1991 по 2005 г. отмечалась тенденция роста повторяемости случаев загрязненности воды водных объектов бассейна фенолами, сопровождаемая, начиная с 1997 г., снижением уровня максимальных концентраций до отсутствия случаев высокого загрязнения (за исключением единичных проб в некоторых створах отдельных водных объектов в 2002 и 2005 гг.). С 1996 по 2002 г. отмечалась повышенная по сравнению с предыдущими и последующими годами распространенность загрязнения поверхностных вод бассейна нефтепродуктами (более 30%) при максимальных разовых концентрациях на уровне экстремально высокого загрязнения в 1991–1993, 1998 и 2003 гг. Достаточ-

но резкие межгодовые колебания повторяемости и уровня загрязненности воды отмечались в течение всего анализируемого периода в ряде притоков Нижнего Амура.

В воде некоторых водных объектов в отдельных створах возрос уровень максимальных концентраций легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), аммонийного азота, снизился — соединений цинка. В некоторых створах на отдельных участках водных объектов возросла повторяемость случаев превышения ПДК по соединениям меди, снизилась — по нитритному азоту (за исключением 2005 г.).

Реки о. Сахалин

Климатические особенности территории о. Сахалин связаны, в основном, с его географическим положением. Большая протяженность острова с севера на юг, сложный рельеф и своеобразный термический режим омывающих морей определяют их разнообразие. Сахалин находится в зоне действия муссонной циркуляции умеренных широт. Климат Тымь-Поронайской и Сусунайской низменностей имеет континентальный характер, а в районах полуостровов Шмидта и Терпения приобретает морские черты. Для всей территории характерными являются высокая относительная влажность воздуха, частые туманы и значительное количество атмосферных осадков, выпадающих, преимущественно, в теплое время года. При прохождении наивысших уровней половодья наблюдаются опасные неблагоприятные явления с выходом на пойму, затоплением сельхозугодий, дорог, хозяйственных объектов и отдельных населенных пунктов на реках северных, центральных районов Сахалина и в бассейне р. Сусуя.

Среди подземных на острове широко представлены пресные и ультрапресные воды. По химическому составу вода подземных горизонтов относится преимущественно к гидрокарбонатному классу, и лишь в прибрежных районах встречаются водонесные комплексы с гидрокарбонатно-хлоридными и хлоридными водами. В районах расположения озер и болотных массивов подземные воды, в основном, являются пресными, с высоким содержанием железа и органических соединений.

Почвы о. Сахалин отличаются большим разнообразием. На равнинной части острова и по долинам рек развиты, в основном, суглинистые лугово-дерновые, лугово-глеявые заболоченные и пой-

менные аллювиально-слоистые и торфянистые почвы. С увеличением высоты местности они сменяются горными буро-таежными неоподзоленными или слабоподзоленными суглинистыми почвами. В северной части острова, в пределах Северо-Сахалинской равнины, обширные площади занимают средне- и слабоподзолистые супесчаные почвы. Благодаря хорошей промытости этих почв, атмосферные осадки при прохождении через них слабо обогащаются растворенными солями, что способствует формированию сравнительно низкой минерализации воды рек. В целом на острове минерализация поверхностных вод колеблется в чрезвычайно широких пределах, от 17,5 мг/л (р. **Красная**) до 13040 мг/л (р. **Чёрная**).

Качество поверхностных вод Сахалинской области в подавляющем большинстве оценивается 3-м классом разрядов «а» и «б». Наихудшее качество воды характерно для р. **Охинка**. Источниками загрязнения реки являются сточные воды ТЭЦ и нефтедобывающих предприятий АООТ «Сахалинморнефтегаз», расположенных по всей длине реки. Среднегодовые концентрации нефтепродуктов в воде р. Охинка находятся на протяжении ряда лет на уровне экстремально высокого загрязнения, до 700 ПДК. Максимальные концентрации превышали уровень «экстремально высокого» загрязнения в 3–40 раз, достигая 1700–1988 ПДК. Вода по качеству оценивается как «экстремально грязная».

7.4. ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

Анализ динамики содержания в воде характерных для большинства водных объектов Российской Федерации загрязняющих веществ проведен по гидрографическим районам, показанным на рис. 7.18.

Основными факторами, определяющими гидрохимический режим поверхностных вод, являются климатические условия, геологическое и геоморфологическое строение территории, характер почв и растительного покрова, также в значительной мере антропогенное воздействие (сброс неочищенных и загрязненных сточных вод многочисленных предприятий различной хозяйственной направленности). Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод является основной

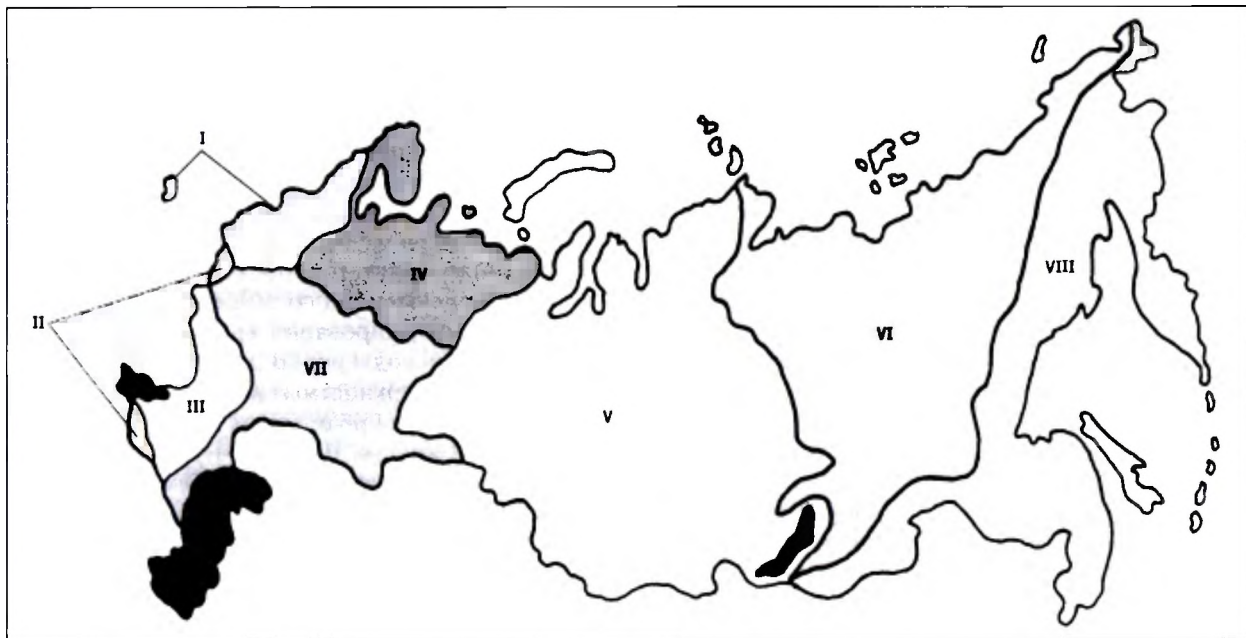


Рис. 7.18. Гидрографические районы на территории Российской Федерации:

I — Балтийский район и Калининградская область; II — Черноморский; III — Азовский; IV — Баренцевский; V — Карский; VI — Восточно-Сибирский; VII — Каспийский; VIII — Тихоокеанский

причиной возникновения чрезвычайных экологических ситуаций, вызванных периодическим накоплением в одной среде большого набора загрязняющих веществ. По сбросам загрязняющих веществ, по их количеству и компонентному составу, в каждом гидрографическом районе преобладают предприятия разных видов промышленности, чаще всего металлургической, металлургической, металлообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, химической, химико-биологической, фармацевтической, оборонной, предприятия энергетики, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и др.

Многие годы гидролого-экологическое состояние речных экосистем европейской и азиатской территорий России формируется под влиянием внешних и внутрисистемных природных и антропогенных факторов, к которым относятся регулирование речного стока, дноуглубление, разработка карьеров в акватории, гидротехническое строительство, тепловое и химическое загрязнение за счет сброса сточных вод, смыва с поверхности суши.

Поступление в водные объекты сточных вод большинства видов промышленного и коммунального хозяйства является главной причиной их загрязнения минеральными, биогенными и органи-

ческими веществами, многие из которых токсичны, а отдельных водных объектов, в первую очередь водохранилищ — евтрофирование, сопровождающееся эволюцией экосистем. Современный уровень очистки сточных вод недостаточен. Даже в водах, прошедших биологическую очистку, содержится такое количество нитратов и фосфатов, которое вполне достаточно для роста и развития многих водорослей. Поскольку практически вся производственная и бытовая деятельность человека связана с потреблением значительных объемов чистой воды и сбросом загрязненных вод в водные объекты, сточные воды являются мощным источником разнообразных биогенных и органических веществ.

Существенное влияние на содержание биогенных, органических веществ и пестицидов оказывают сточные воды с сельскохозяйственных угодий, пастбищ, животноводческих ферм. Вносимые под сельскохозяйственные культуры удобрения вымываются с поверхностным и внутрипочвенным стоком. Сельское хозяйство является мощным источником биогенных и органических веществ, поступающих в природные воды как за счет поверхностного стока, атмосферных осадков с сельскохозяйственных угодий, так и обогащения внутрипочвенного стока, затопления пойм, используемых для

целей животноводства, попадания в водоемы его отходов.

Особенно резко негативное влияние хозяйственной деятельности сказывается на состоянии малых рек, часть из которых превратилась в сточные канавы, многие обмелели, заросли тростником, русла их в значительной степени утратили пропускную и дренирующую способность.

Возрастание антропогенного влияния на природную среду сопровождается трансформированием материкового стока химических веществ в моря и океаны.

Трансграничный перенос оксидов серы и азота и возрастание их концентраций в атмосфере за счет антропогенных источников привели к распространению процессов закисления континентальных и водных экосистем на обширные территории.

При современных масштабах антропогенных влияний на биосферу качество поверхностных вод формируется не только в результате функционирования естественных экологических систем, но и за счет производственной деятельности.

Значительное антропогенное воздействие нарушило естественный гидрохимический режим многих водных объектов разной категории — межгодовую, внутригодовую, пространственную изменчивость содержания растворенного в воде кислорода, легко- и трудноокисляемых органических веществ, аммонийного и нитритного азота, соединений минерального и органического фосфора, соединений меди, цинка, железа и др.

Анализ многолетней гидрохимической информации, накопленной сетью Росгидромета, показал, что сложившаяся в настоящее время напряженная экологическая ситуация в отдельных гидрографических районах практически не меняется. Ни в одном из гидрографических районов Российской Федерации за период 1991—2005 гг. заметных изменений в качестве поверхностных вод в целом по району не произошло. Несмотря на то что в отдельных речных бассейнах происходили изменения в качестве воды как в лучшую, так и в худшую сторону, в целом уменьшился сброс загрязненных сточных вод, сложившийся отрицательный эффект влияния хозяйственной деятельности на поверхностные воды не скомпенсировался, состояние качества воды как некоторых крупных водных объектов, так и, особенно, водных объектов малой категории, осталось крайне неблагоприятным.

Анализ данных и тенденций изменения уровня загрязненности поверхностных вод России за

длительный период с 1991 по 2005 г. показал следующие:

1. Наиболее распространенными загрязняющими веществами поверхностных вод России являются соединения меди, железа, нефтепродукты, легкоокисляемые органические вещества, фенолы, соединения цинка, в отдельных водных объектах — аммонийный и нитритный азот. Наиболее высокий уровень загрязненности воды водных объектов отмечается по соединениям меди, цинка, нефтепродуктам, по которым превышение составило 30, 50, 100 ПДК; по нитритному азоту — 30, 50 ПДК; по аммонийному азоту и соединениям железа — 10, 30 ПДК.

2. Для отдельных регионов России характерно наличие в воде водных объектов специфических загрязняющих веществ: лигнина, лигносульфонатов, сульфидов и сероводорода, хлорорганических пестицидов, метанола, соединений ртути, свинца, кадмия.

3. В целом по территории России в течение 1991—2005 гг. уровень и характер загрязненности водных объектов варьировал в широких пределах, превышение ПДК загрязняющих веществ в воде водных объектов составляло: соединений меди — 74,1—79,9%; марганца — 62,7—69,0%; железа — 61,8—66,7%; цинка — 30,3—40,1% нефтепродуктов — 39,6—61,0%; легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) — 31,0—54,0%, фенолов — 38,2—40,8%.

4. Число створов с высоким уровнем загрязненности воды, когда среднегодовая концентрация одного или нескольких загрязняющих веществ составляла или превышала 10 ПДК, изменялось в пределах 780—970. В последние три года число таких створов снизилось до 648—652. При этом ежегодно число створов, качество воды которых не изменялось, оставалось высоким и составляло большую часть, до 418—700 створов. Число створов, на которых наблюдалось ухудшение качества воды, изменялось в пределах 45—100, а число створов, на которых отмечалось улучшение, было незначительным и колебалось в пределах 28—52.

5. В течение указанного периода на отдельных водных объектах наблюдалось как небольшое увеличение, так и уменьшение уровня загрязненности воды пестицидами. Наиболее загрязнена хлорорганическими пестицидами в разные годы была вода в бассейнах рек Дон, Надым, Обь, Урал, Кубань, в бассейне рек и оз. Кольского полуострова и рек бассейна Японского моря, гербицидом ТЦА — в бассейне Амура. В целом загрязненность поверхностных вод суши России традиционно определяемыми

хлорорганическими пестицидами носит глобальный характер, остальными пестицидами — локальный.

6. Для большинства средних и крупных рек России загрязненность воды основными загрязняющими веществами: нефтепродуктами, фенолами, легкоокисляемыми органическими веществами, соединениями меди и цинка стабилизировалась на уровне 1—3; 2—5 ПДК.

7. Антропогенное воздействие на поверхностные воды суши России проявилось в периодическом усилении процессов евтрофирования водных объектов, особенно водохранилищ, в том числе и Российского Севера. Последствиями длительного антропогенного воздействия в бассейнах крупных рек является значительное ухудшение качества водной среды и, как следствие, качественные и количественные изменения структурной организации планктонных и бентосных сообществ. Нарушения выразились не только в расширении диапазонов колебания общей численности сообществ, но и в перестройке их группового и видового состава с общей тенденцией к экологическому регрессу водных объектов.

8. Динамика выноса речным стоком растворенных веществ в моря имеет сложный и неоднозначный характер. Наиболее подвержен изменению во времени сток минерального азота, фосфора, нефтепродуктов и трудноокисляемых органических веществ. Существенное изменение в выносе веществ обусловлено колебаниями антропогенной нагрузки в бассейнах рек и величин водного стока.

9. Вода водных объектов крупнейших речных бассейнов европейской (Волга, Дон, Кубань) и азиатской части России (Обь, Енисей, Амур) характеризуется широким диапазоном качества от «слабо загрязненной» до «экстремально грязной». В целом уровень загрязненности воды этих бассейнов практически не меняется, хотя в отдельные годы наблюдалось как небольшое улучшение, так и ухудшение качества воды. Физико-географические и климатические особенности речных бассейнов европейского севера России и, особенно, бассейнов арктических морей значительно удлиняют период разложения поступающих загрязняющих веществ, вследствие чего увеличивается в несколько раз дальность их распространения. В зимний период из-за низких температур заметно замедляется самоочищающаяся способность экосистемы, что обуславливает высокую уязвимость водных объектов и их повышенную чувствительность к антропогенным воздействиям.

10. В силу суровых природных условий для бассейнов рек арктических морей характерен слабый потенциал самоочищения поверхностных вод, низкое биологическое разнообразие, которые определяют высокую уязвимость водных экосистем по отношению ко всем формам антропогенного воздействия, особенно в импактных районах. Специфика отдельных предприятий, расположенных на Кольском полуострове, и количество сбрасываемых ими сточных вод обусловили высокий и экстремально высокий уровень загрязненности воды водных объектов соединениями никеля, меди, кобальта, марганца, дитиофосфатом, органическими веществами, сульфатами, аммонийным и нитритным азотом. Большинство малых рек Кольского полуострова и рек севера ЕТР относятся к классу «очень грязных», либо «экстремально грязных».

11. Большинство устьевых областей крупных рек и прилегающих прибрежных зон морей: Балтийского, Северного, Баренцева, Каспийского, морей Арктического и Тихоокеанского бассейнов находятся в настоящее время в напряженном экологическом состоянии, вызванном, прежде всего, хозяйственной деятельностью человека. Крупные реки и, соответственно, их притоки являются районами проживания и производственной деятельности многомиллионного населения, водоприемниками различных по объему и качественному составу сточных вод предприятий и других объектов, поэтому они являются мощным источником поступления в моря большого количества загрязняющих веществ. Многокомпонентность внешних факторов, сложность взаимодействия отдельных элементов, громадное разнообразие протекающих процессов в водной толще и в донных отложениях, значительная изменчивость поступающих загрязняющих веществ из-за влияния как естественных, так и антропогенных факторов, различие в испытываемых нагрузках продолжают усугублять экологическое состояние поверхностных вод России.

Результаты анализа многолетней режимной гидрохимической информации, полученной сетью ГСН Росгидромета в отдельных гидрографических районах Российской Федерации, позволили сделать вывод, что определяющим фактором формирования современного экологического состояния большинства водных объектов России является интенсивное развитие в бассейнах рек различных отраслей промышленности. Длительное антропогенное воздействие привело к значительным изменениям эколо-

гического состояния водных экосистем, нарушило естественный гидрохимический режим рек, в подавляющем большинстве — в устьевых участках, являющихся приемниками растворенных и взвешенных загрязняющих веществ, поступающих с водосборов рек.

Нефтепродукты

Превышение ПДК нефтепродуктов в воде водных объектов отдельных гидрографических районов в течение 1991–2005 гг. составляло 12,1–61,0% от числа проанализированных проб. Наиболее высокие концентрации отмечались в Карском и Тихоокеанском гидрографических районах, где наблюдали превышение ПДК нефтепродуктов в поверхностных водах в 10, 30, 50 и 100 раз. Единичные случаи превышения ПДК нефтепродуктов в 10, 30, 50 раз наблюдали в отдельные годы в воде водных объектов Восточно-Сибирского, Каспийского бассейнов, свыше 10 ПДК — в Азовском гидрографическом районе.

Нефтепродукты являются одним из наиболее характерных загрязняющих веществ поверхностных вод Карского гидрографического района. Освоение нефтяных и газовых месторождений на территории Обь-Иртышского бассейна привело к значительному нарушению экологического равновесия водных объектов. В течение последнего десятилетия особую угрозу для водоемов Обь-Иртышского бассейна представляет сброс нефтепродуктов, источником которых, в основном, являются сточные воды предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтегазовой промышленности, береговых и плавучих нефтебаз, самоходный флот и др. Отставание строительства очистных сооружений, низкая эффективность построенных, привели к тому, что только 10–15% сточных технологических вод, сбрасываемых в водоемы, очищаются нормативно. Среди загрязняющих веществ, попадающих в р. Обь и в водные объекты ее бассейна, нефтепродукты занимают первое место. Более 100 водотоков бассейна подвержены загрязнению нефтепродуктами, максимальные концентрации

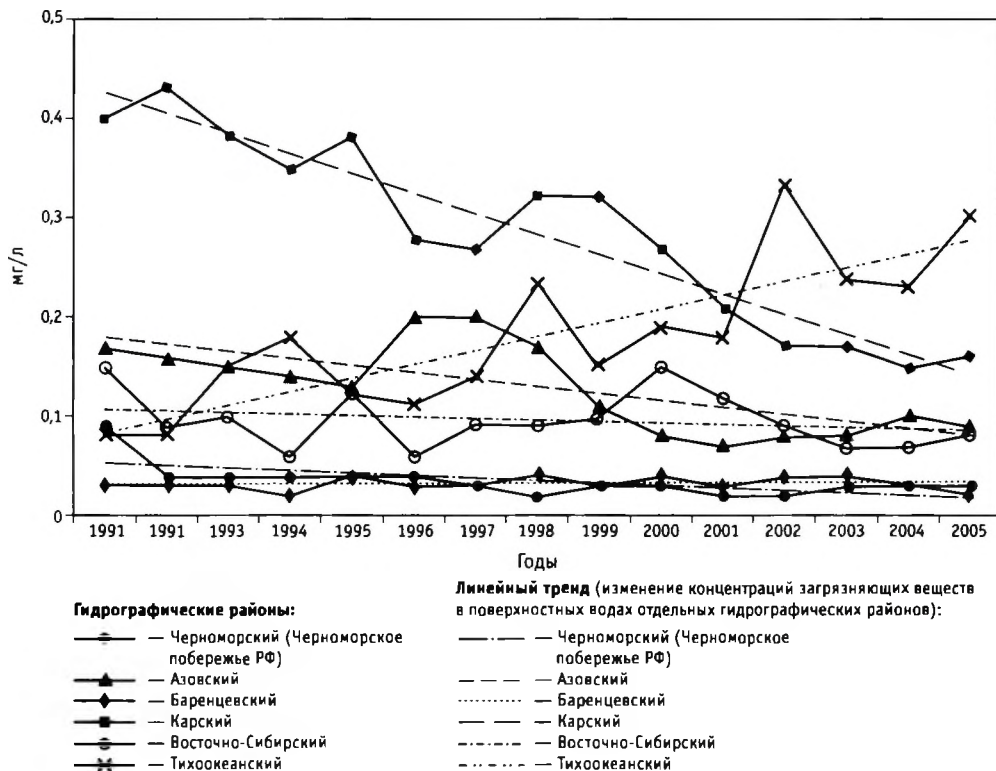


Рис. 7.19. Динамика среднегодовых концентраций нефтепродуктов (ПДК — 0,05 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России

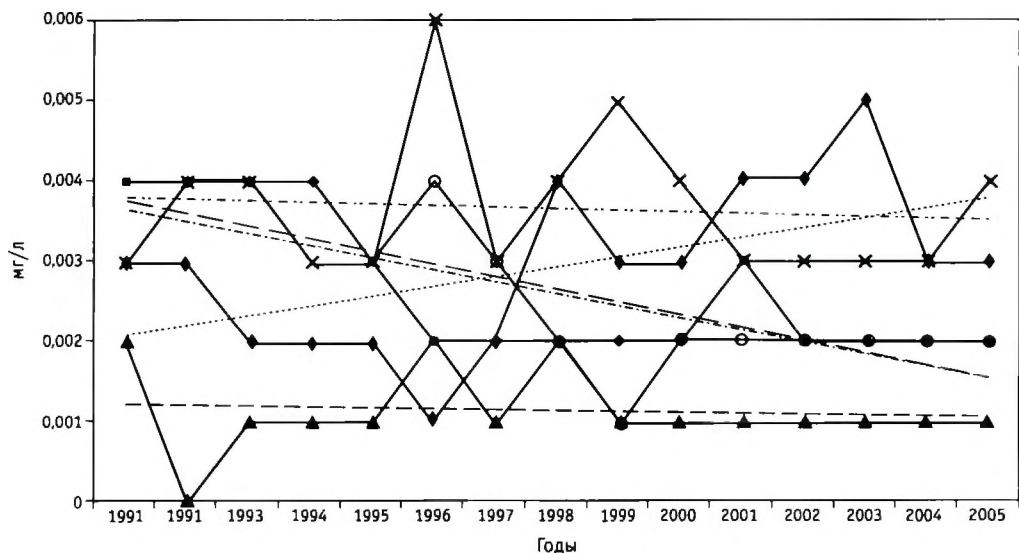


Рис. 7.20. Динамика среднегодовых концентраций фенолов (ПДК — 0,001 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

которых отмечаются в среднем и нижнем течении, где р. Обь аккумулирует загрязненные воды притоков, пересекающих нефтеносные районы. Безнадзорная эксплуатация нефтескважин привела к увеличению числа аварий на нефтепромыслах. Заброшенные скважины, количество которых только в водоохраных зонах составляет около 350, также являются источниками загрязнения поверхностных вод бассейна Оби.

Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов в поверхностных водах Карского гидрографического района (в пределах 6–8 ПДК по среднегодовым концентрациям) отмечены в 1991–1994 гг., в последующие годы уровень загрязненности воды водных объектов бассейна Карского моря несколько уменьшился до 3,0–3,5 ПДК (рис. 7.19).

В Тихоокеанском гидрографическом районе загрязненность поверхностных вод нефтепродуктами продолжает увеличиваться. Наиболее загрязнена нефтепродуктами вода р. Охинка в районе г. Оха, высокая концентрация нефтепродуктов в воде реки наблюдалась в течение всего описываемого периода до сотен ПДК по среднегодовым и до тысяч ПДК по максимальным концентрациям.

Фенолы

Динамика уровня загрязненности поверхностных вод фенолами по отдельным гидрографическим районам показана на рис. 7.20. Практически не ме-

няется загрязненность воды фенолами в концентрациях, превышающих ПДК, в бассейне Азовского моря. Наиболее высокие среднегодовые концентрации фенолов (в пределах 3–6 ПДК) отмечены в Тихоокеанском гидрографическом районе в 1991–2005 гг., в пределах 3–5 ПДК — в Баренцевском в 1998–2005 гг. В бассейнах Карского и Восточно-Сибирского морей уровень загрязненности поверхностных вод фенолами уменьшился в 2005 г. по сравнению с уровнем загрязненности в 1991 г., хотя среднегодовые концентрации в воде по-прежнему превышают ПДК.

Аммонийный азот

Присутствие аммонийного азота в воде связано главным образом с процессами биохимической деградации белковых веществ, т. е. с отмиранием водных организмов, особенно в зонах их скопления в придонном слое, в слоях повышенной плотности фито- и бактериопланктона. Значительное количество аммонийного азота поступает с поверхностным стоком, с атмосферными осадками. Естественными источниками иона аммония (NH_4) являются прижизненные выделения гидробионтов. В некоторых случаях ионы аммония могут образовываться в результате анаэробных процессов восстановления нитратов и нитритов. Высокие концентрации ионов аммония характерны для поступающих в водные объекты бытовых и промыш-

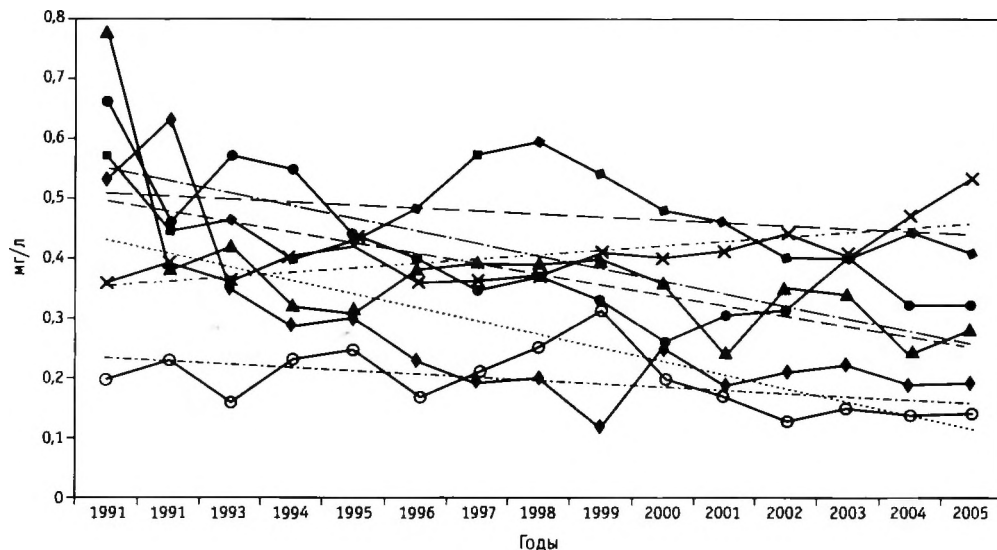


Рис. 7.21. Динамика среднегодовых концентраций аммонийного азота (ПДК — 0,39 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

ленных сточных вод от предприятий пищевой, лесохимической, химической и др. отраслей промышленности.

Для аммонийного азота характерны сезонные колебания концентрации с понижением весной, в период интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона, и понижением летом, при увеличении процессов бактериального разложения органического вещества. В осенне-зимний период повышенное содержание аммонийного азота связано с продолжающейся минерализацией органических веществ в условиях слабого потребления фитопланктоном.

Аммонийный азот является характерным загрязняющим веществом поверхностных вод Азовского, Карского, Тихоокеанского гидрографических районов, рек Черноморского побережья Краснодарского края. Наиболее высокий уровень загрязненности поверхностных вод этих районов аммонийным азотом отмечен в 1991—1995 гг., 1997—1999 гг. В целом по стране наблюдается незначительное снижение содержания аммонийного азота в поверхностных водах в 2005 г. по сравнению с 1991 г., хотя среднегодовые концентрации превышают ПДК. Уровень загрязненности поверхностных вод Восточно-Сибирского гидрографического района аммонийным азотом невысок, ниже ПДК, в многолетнем плане наблюдается уменьшение его концентраций в воде (рис. 7.21).

Нитритный азот

Присутствие нитритного азота в поверхностных водах обусловлено процессами минерализации органических веществ и процессами нитрификации (процесс окисления аммиака до нитритов и нитратов нитрифицирующими бактериями).

Повышенные концентрации нитритного азота могут быть обусловлены сбросом в водные объекты сточных вод предприятий, использующих в технологическом процессе нитритные соли. Для нитритного азота также характерны сезонные колебания, характеризующиеся практически отсутствием в зимнее время и появлением весной при разложении органических веществ. Максимальное содержание нитритного азота наблюдается в конце лета, когда интенсивно идет процесс распада образовавшихся за лето органических веществ. Осенью содержание нитритного азота уменьшается.

Нитритный азот является характерным загрязняющим веществом поверхностных вод Азовского, Карского гидрографического районов, рек Черноморского побережья Краснодарского края. Наиболее высокие концентрации отмечены в 1991—1992 гг., в 2003 г. В многолетнем плане значительное снижение концентраций нитритного азота наблюдается в поверхностных водах Азовского бассейна, менее четко эта тенденция выражена в реках Черноморского побережья Краснодарского края. Среднегодовое содержание нитритного азота в поверх-

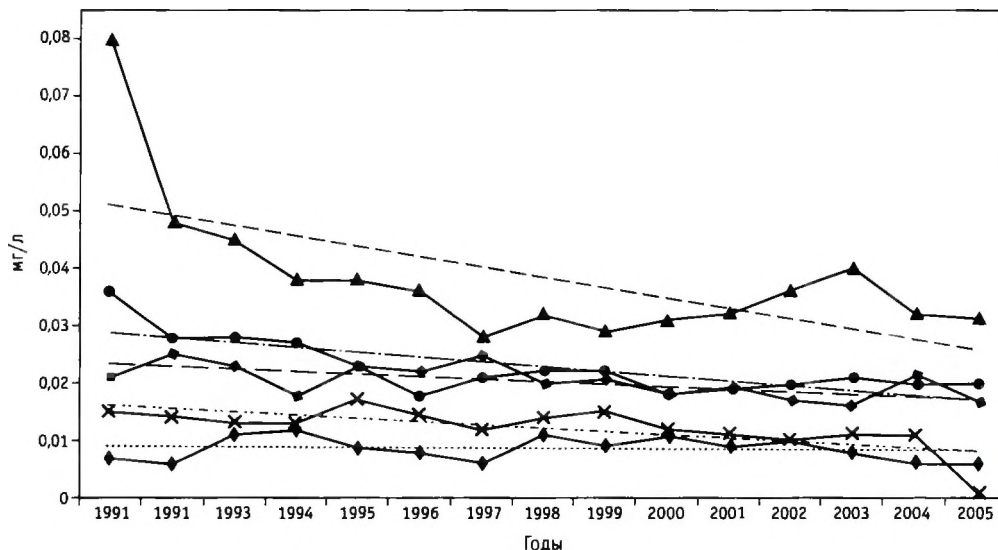


Рис. 7.22. Динамика среднегодовых концентраций нитритного азота (ПДК — 0,02 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

ностных водах Баренцевого и Тихоокеанского гидрографических районов не превышает ПДК, однако наблюдается незначительная тенденция увеличения содержания нитритного азота в поверхностных водах Баренцевого гидрографического района (рис. 7.22).

Легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅)

Биохимическое потребление кислорода воды (БПК₅) является мерой кислорода, потребляемого за 5 суток при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях. Значения величин БПК₅ воды используются для оценки степени загрязненности поверхностных вод, а также с целью определения содержания биохимически нестойких органических веществ, условий обитания гидробионтов и, соответственно, характеристики качества воды. Величина БПК₅ воды используется при контроле эффективности работ очистных сооружений.

Легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅) характерны для поверхностных вод всех гидрографических районов России. Наиболее высокие концентрации характерны для поверхностных вод Баренцевого, Азовского, Карского, Тихоокеанского гидрографических районов, рек Черноморского побережья Краснодарского края. В течение

1991–2005 гг. заметно уменьшилось содержание в воде легкоокисляемых органических веществ в Азовском, Карском бассейнах, в реках Черноморского побережья Краснодарского края. Значительный разброс среднегодовых концентраций во временном аспекте характерен для Баренцевого гидрографического района. Намечилась тенденция уменьшения среднегодовых концентраций легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) в бассейне Восточно-Сибирского моря, в Тихоокеанском гидрографическом районе, напротив, уровень загрязненности поверхностных вод легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅) увеличивается (рис. 7.23).

Соединения меди

Основным источником поступления соединений меди в поверхностные воды являются сточные воды предприятий химической, металлургической промышленности, шахтные воды, альгекцидные реагенты, используемые для уничтожения водорослей. Медь может появляться в воде в результате коррозии медных изделий и сооружений, используемых в технике.

В воде медь может находиться в ионной форме и в виде комплексных соединений с органическими и минеральными веществами. В сточных водах обогатительных фабрик, фабрик искусственного волокна и гальванических цехов большая часть меди

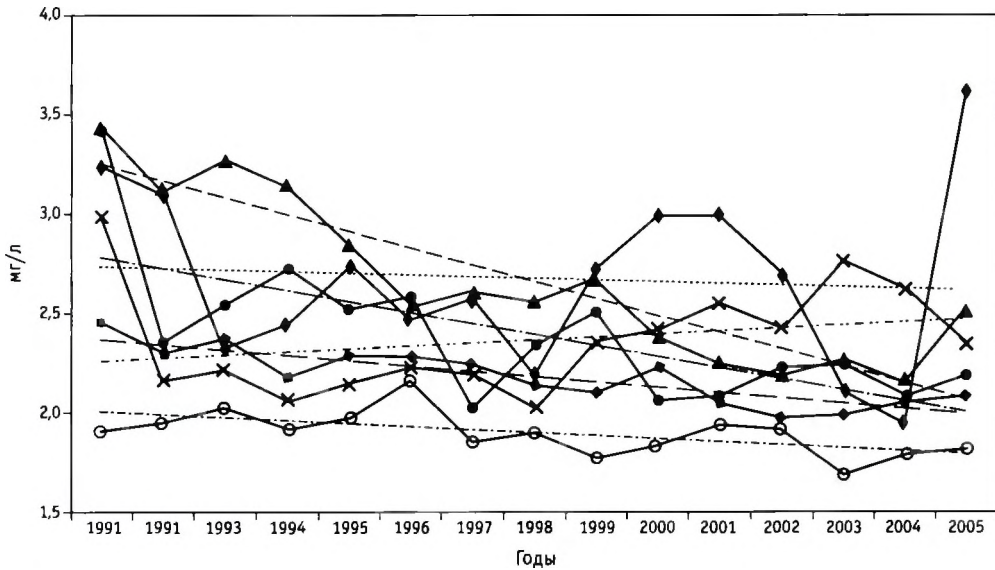


Рис. 7.23. Динамика среднегодовых концентраций легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) (ПДК — 2,00 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

присутствует в виде сложных аммонийных и цианидных комплексов.

Медь относится к числу активных микроэлементов, участвующих в процессе фотосинтеза и влияющих на усвоение азота растениями. Недостаточное содержание меди в почвах отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов и способствует бесплодию растительных организмов. Вместе с тем

избыточные концентрации меди оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы, в том числе и на человека.

В поверхностных водах всех гидрографических районов содержание соединений меди превышает ПДК, наиболее высокие концентрации характерны для Баренцевского и Карского бассейнов, в воде некоторых водных объектов которых наблюдаемые

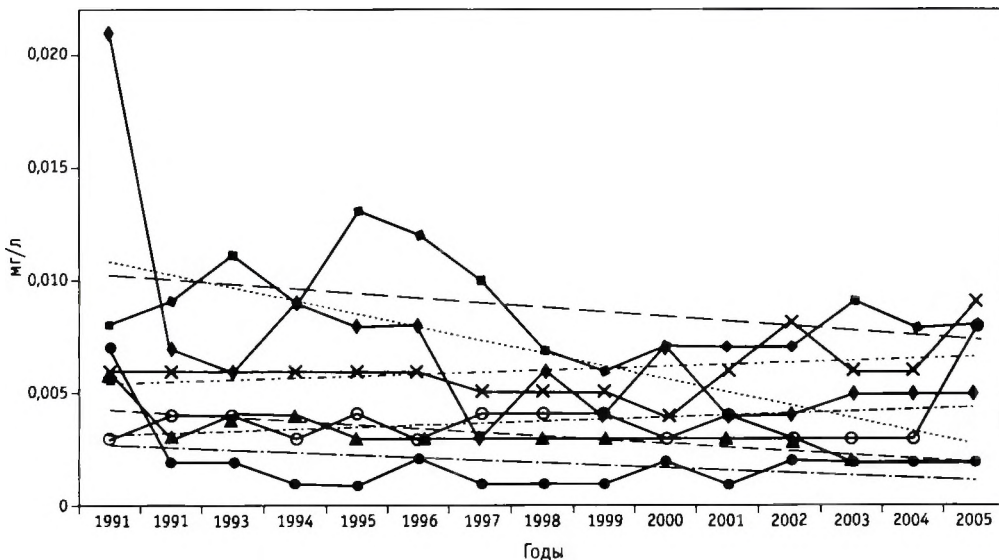


Рис. 7.24. Динамика среднегодовых концентраций соединений меди (ПДК — 0,001 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

(единичные) концентрации превышали десятки, а иногда и сотни ПДК — реки Кольского полуострова, Северо-Запада России, в подавляющем большинстве малые реки бассейнов Оби, Енисея, Приморья и др. Наиболее высокие концентрации характерны для периода 1991–1997 гг. В отдельных гидрографических районах отмечены тенденции как уменьшения (Карский, Баренцевский, Азовский бассейны, реки Черноморского побережья Краснодарского края), так и увеличения (Тихоокеанский, Восточно-Сибирский бассейны) среднегодовых концентраций соединений меди в поверхностных водах (рис. 7.24).

Соединения железа

Главным источником соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением.

Значительные количества соединений железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными сточными водами.

Соединения железа почти всегда присутствуют в природных водах, т. к. железо повсеместно рассеяно в горных породах. Формы присутствия соединений железа в воде многообразны.

В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуются сложные комплексы соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии. Основной формой нахождения соединений железа в поверхностных водах являются комплексные соединения с растворенными в воде неорганическими и органическими соединениями, главным образом гумусовыми веществами. Концентрации соединений железа и их изменения в поверхностных водах определяются комплексом физико-химических и биохимических факторов, таких как рН, Eh воды, содержание растворенного в воде кислорода, двуокси углерода, сероводорода, органических, в том числе гумусовых веществ, микрофлоры водоема и т. д. В свою очередь, являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоеме.

Соединения железа в поверхностных водах России присутствуют повсеместно, в подавляющем большинстве в концентрациях, превышающих ПДК. На ряде водных объектов (притоки Кубани, малые реки Кольского полуострова, водные объекты бассейнов Оби и Енисея, Волги, Оки, Камы, притоки Амура, реки Приморья и Сахалина) многократно наблюдались случаи высокого и экстремально-высокого загрязнения воды соединениями железа, концентрация которых превышала 30 и 50 ПДК.

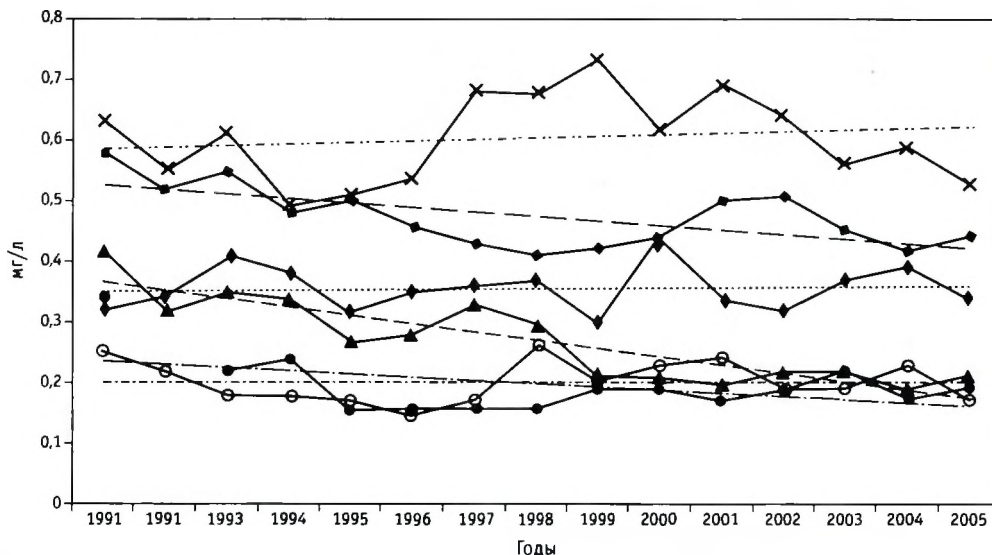


Рис. 7.25. Динамика среднегодовых концентраций соединений железа (ПДК — 0,1 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

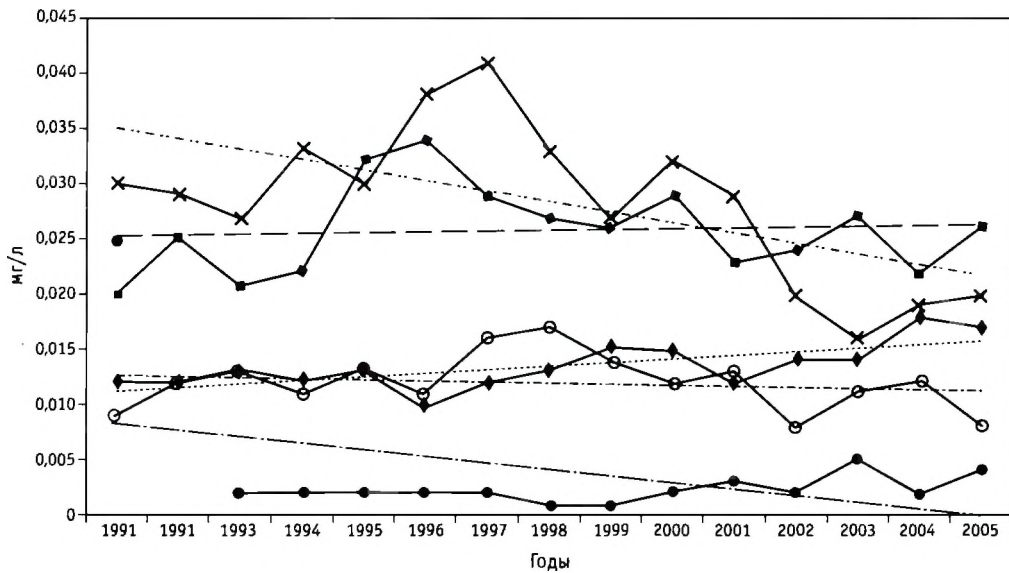


Рис. 7.26. Динамика среднегодовых концентраций соединений цинка (ПДК — 0,01 мг/л) в поверхностных водах гидрографических районов России (условные обозначения см. рис. 7.19)

В многолетнем плане существенных изменений в концентрациях соединений железа в поверхностных водах России не произошло. Наметилась тенденция увеличения концентраций соединений железа в бассейне Тихого океана, Баренцева и Восточно-Сибирского морей; уменьшения — в Карском, Азовском гидрографических районах, в воде рек Черноморского побережья Краснодарского края (рис. 7.25).

Соединения цинка

Основными источниками поступления соединений цинка в окружающую среду являются выбросы при высокотемпературных технологических процессах, протекающие в природе процессы разрушения и растворения горных пород и минералов, главным образом сфалерита (ZnS), сульфидных комплексных и железных руд, а также коррозия трубопроводов. Значительные количества соединений цинка поступают со сточными водами рудообогатительных фабрик, гальванических цехов многих предприятий, производств пергаментной бумаги, минеральных красок, искусственного волокна и др. Особую опасность представляют шламы сточных вод и сами сточные воды химического, деревообрабатывающего, текстильного, цементного производств. Соединения цинка относятся к числу активных микроэлементов, влияющих на рост

и нормальное развитие растительных организмов. В природной воде соединения цинка находятся в ионной форме или в форме его минеральных и органических комплексов. Иногда цинк встречается в нерастворенных формах в виде гидроксидов, карбоната, сульфида и др. Многие соединения цинка, прежде всего сульфат цинка и хлорид цинка, токсичны.

В большинстве водных объектов России содержание соединений цинка превышает ПДК. Случаи превышения 50 и 100 ПДК наблюдались в бассейне Оби (реки Иртыш, Тобол, Исеть, Миасс и др.), Енисея, оз. Пясино, Урала (реки Бьява, Илек), в реках Приморья.

В воде рек Черноморского побережья Краснодарского края наметилась тенденция уменьшения содержания соединений цинка, среднегодовые концентрации которых не превышают ПДК. В пределах 1–1,5 ПДК изменяется среднегодовая концентрация соединений цинка в водных объектах Баренцевского и Восточно-Сибирского гидрографических районов, в воде которых наблюдается устойчивая тенденция увеличения содержания соединений цинка; в пределах 2–4,3 ПДК — в водных объектах Карского и Тихоокеанского бассейнов, при этом в поверхностных водах Карского гидрографического района концентрация соединений цинка увеличивается, Тихоокеанского — уменьшается (рис. 7.26).

Литература

- ГОСТ 17.1.3.07—82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. — М.: Издательство стандартов, 1986. — 12 с.
- Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 560 с.
- Израэль Ю. А., Гасилина Н. К., Ровинский Ф. Я., Филипова Л. М. Осуществление в СССР системы мониторинга загрязнения окружающей среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 111 с.
- Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водотоков и водоемов на сети Росгидромета в рамках ОГСНК. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 39 с.
- Никаноров А. М. Научные основы мониторинга качества поверхностных вод. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — 576 с.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение — М.: ВНИРО, 1999. — 304 с.
- Положение о порядке организации, учета и функционирования ведомственной наблюдательной сети. — Утверждено приказом Росгидромета от 21.01.2000 г. № 13.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2005 г. № 569.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2004 г. № 370 «Об утверждении Положения о Министерстве природных ресурсов Российской Федерации».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2004 г. № 372 (изменения в редакции Постановления Правительства РФ от 05.12.2005 г. № 736) «Положение о Федеральной службе России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 24 июля 2007 г. № 55 «Положение о государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 881 «О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 883 «О порядке разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 884 «О порядке подготовки и принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование».
- Р 52.24.309—2004. Рекомендации. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета. — М.: Метеоагентство Росгидромета, 2005. — 128 с.
- РД 52.24.309—92. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 67 с.
- Федеральные законы Российской Федерации «Об охране окружающей среды» № 7 от 10 января 2002 г., № 45 от 09.05.2005 г., № 199 от 31.12.2005 г.
- Федеральный закон Российской Федерации № 94-ФЗ от 1 мая 1999 г. «Об охране оз. Байкал» (в ред. Федерального закона № 232-ФЗ от 18.12.2006 г.).
- Федеральный закон Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации».

Глава 8

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Подземные воды являются, с одной стороны, подвижным полезным ископаемым, находящимся в земных недрах и извлекаемым из них, с другой — частью общих водных ресурсов суши (Боревский и др., 1989).

Как *полезное ископаемое*, подземные воды являются непосредственной частью недр, и их запасы определяются геолого-гидрогеологическими условиями территории. Как *часть общих водных ресурсов суши*, они подвижны, находятся в тесной связи между собой, с поверхностными водами и атмосферой. В связи с этим величина запасов подземных вод зависит не только от геолого-гидрогеологических, но и от физико-географических, а также антропогенных факторов, связанных с изменением водохозяйственной обстановки и определяющих изменение условий питания, формирование качества и возможную величину отбора подземных вод.

В связи с тесной взаимосвязью с внешней средой, отбор подземных вод может приводить к таким негативным последствиям для окружающей среды, как сокращение водности поверхностных водотоков и водоемов, снижение уровня грунтовых вод, изменение ландшафтов (угнетение или гибель растительности), оседание земной поверхности, активизация карстово-суффозионных процессов. Необходимость локализации или полного предотвращения указанных процессов может привести к существенному изменению возможной величины отбора подземных вод или схемы водозаборных сооружений.

Одним из наиболее важных вопросов при оценке перспектив использования пресных подземных

вод является их взаимодействие с другой составляющей общего круговорота воды в природе — поверхностными водами. В этом направлении можно наметить следующие основные задачи (Язвин, Коноплянцев, 1984):

1. Обоснование целесообразности совместной эксплуатации поверхностных и подземных вод, в том числе форсированного интенсивного отбора подземных вод в маловодные годы с последующим его снижением в многоводные.

2. Оценка влияния изменения поверхностного стока на запасы подземных вод и условия их эксплуатации.

3. Оценка изменений поверхностного стока при отборе подземных вод.

4. Обоснование использования поверхностных вод как источника искусственного пополнения запасов подземных вод или использования подземных вод для регулирования поверхностного стока.

Двойственный характер подземных вод определил также ряд существенных особенностей, которые коренным образом отличают подземные воды от других полезных ископаемых. К этим основным особенностям относятся (Боревский и др., 1989; Зеккер, 2001):

1. Полная или частичная возобновляемость подземных вод, связанная с постоянным или периодическим питанием, обусловленным их тесной взаимосвязью с атмосферными водами.

2. Тесная взаимосвязь подземных вод с внешней средой и, как следствие, зависимость величины их запасов от климатических, в том числе гидрологических, и антропогенных факторов и их изменений во времени.

Подземные воды — единственное полезное ископаемое, в процессе эксплуатации которого про-

исходит не только их расходование, но и дополнительное формирование, вызванное усилением питания подземных вод при водоотборе.

3. Возможность формирования новых запасов подземных вод, а также возрастания их величины при проведении водохозяйственного строительства или специальных инженерных мероприятий по искусственному подпитыванию подземных вод.

4. Возможность изменения качества подземных вод в процессе эксплуатации под влиянием естественных и антропогенных факторов, которое может происходить в направлении как его ухудшения (загрязнения), так и улучшения (например, формирования линз пресных вод при подтягивании поверхностных вод, примером которых являются приканальные линзы).

5. Возможность взаимодействия водозаборов и водопонижительных и дренажных систем, расположенных на разных участках одного и того же водоносного горизонта; зависимость величины водоотбора от схемы размещения каптажных сооружений и фильтрационных свойств водовмещающих пород, определяющих величину дебита водозаборной скважины и всего водозабора в целом. При этом ввод в действие новых водозаборов может приводить к уменьшению водоотбора на уже действующих вследствие их взаимовлияния.

Отметим еще одну важную особенность подземных вод, связанную с оценкой перспектив их использования. Она заключается в том, что возможность отбора подземных вод зависит не только от количества воды, находящейся в пласте и поступающей в пласт в естественных условиях, но и от фильтрационных свойств водовмещающих пород, определяющих сопротивление движению подземных вод к водозаборным сооружениям.

Перечисленные основные особенности подземных вод, отличающие их от других полезных ископаемых, определили необходимость выделения нескольких понятий, характеризующих: а) количество воды, находящейся в водоносном горизонте; б) количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных и нарушенных условиях; в) количество воды, которое может быть отобрано рациональными водозаборами для целей хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

Для обозначения количества подземной воды существует ряд классификаций, в большинстве из них различают понятия «запасы» и «ресурсы». Понятие «ресурсы» было введено в гидрогеологию

академиком Ф. П. Саваренским. Необходимость введения этого понятия для подземных вод он обосновал тем, что подземные воды не обладают постоянными запасами как прочие полезные ископаемые. При использовании подземных вод часто приходится ориентироваться не только и не столько на тот объем, который занимают подземные воды в данном бассейне или водоносном слое, а на приток подземных вод. Ф. П. Саваренский считал, что правильнее говорить не о «запасах» подземных вод, а об их «ресурсах», понимая под этим термином их поступление (питание) и расходование и оставляя за термином «запасы» лишь то количество воды, которое находится в данном бассейне (или водоносном слое) вне зависимости от величины его питания.

Вследствие этого, при оценке перспектив использования подземных вод, в отличие от поверхностных или других полезных ископаемых, недостаточно одного понятия «водные ресурсы» или «запасы полезных ископаемых», характеризующего их ресурсы или суммарное весовое или объемное содержание в недрах.

В настоящее время в практике гидрогеологических исследований при оценке перспектив использования подземных вод используются следующие основные понятия:

1. **Объем (масса) подземных вод**, содержащихся в водоносных пластах, которые могут быть извлечены из них при снижении напора, осушении пласта или вытеснении воды из пород. Это понятие наиболее часто определяется термином «*емкостные запасы*», измеряемые в объемных единицах.

2. **Питание подземных вод** — количество вод, поступающих в водоносный горизонт (за определенный промежуток времени).

Для характеристики питания в естественных условиях (путем инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из поверхностных водотоков и водоемов, из других горизонтов) наиболее широко применяется термин «*естественные ресурсы*».

Естественные ресурсы являются показателем восполнения подземных вод, отражая их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого. Они выражаются среднегодовыми или минимальными значениями модулей подземного стока (л/с · км²) или величиной слоя воды (мм/год), поступающей в водоносный горизонт.

Для характеристики питания, обусловленного проведением водохозяйственных мероприятий, в том числе искусственного подпитывания под-

земных вод, используется термин «искусственные ресурсы».

Два вышеуказанных понятия объединяются термином «динамические ресурсы» (или «ресурсы подземных вод»). Дополнительное питание подземных вод, возникающее при их эксплуатации, определяется термином «привлекаемые ресурсы».

3. Возможный отбор подземных вод водозаборными сооружениями при заданных гидрогеологических, технико-экономических и природоохранных ограничениях. Для характеристики этого понятия наиболее часто используются термины «эксплуатационные запасы» (ЭЗПВ) и «прогнозные эксплуатационные ресурсы» (ПЭРПВ). В последние годы в России также получил достаточно широкое распространение термин «ресурсный потенциал».

Для смыслового разграничения этих понятий приведем их определения, которые могут быть сформулированы следующим образом:

Эксплуатационные запасы подземных вод (ЭЗПВ) — количество подземных вод, которое может быть получено на месторождении (участке) из геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям ее целевого использования в течение всего расчетного срока водопотребления с учетом природоохранных и санитарных требований и ограничений, а также экономической целесообразности их использования.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод (ПЭРПВ) — количество подземных вод определенного качества и целевого назначения, которое может быть получено по водоносной системе в целом или отдельным продуктивным водоносным горизонтам и комплексам в пределах гидрогеологических районов, речных бассейнов разного порядка или административных территорий, а также участков и площадей, перспективных для локализации месторождений подземных вод, дополнительно к эксплуатационным запасам подземных вод, оцененным на этих же территориях. Отметим, что ранее в литературе вместо ПЭРПВ использовался термин «прогнозные ресурсы» (ПРПВ), который рассматривается в данной работе как синоним ПЭРПВ.

Ресурсный потенциал подземных вод (РППВ) — суммарная величина эксплуатационных запасов и прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод в пределах оцениваемых гидрогеологических районов, речных бассейнов, административных

территорий, в том числе на участках и площадях, перспективных для локализации месторождений подземных вод. Прогнозные эксплуатационные ресурсы и ресурсный потенциал оцениваются в величинах расхода (как правило, м³/сут). При региональных исследованиях также определяются модули ресурсного потенциала (л/с · км²).

Целесообразность разграничения терминов ЭЗПВ и ПЭРПВ связана с технико-экономическими и технологическими аспектами добычи подземных вод. Поэтому термины «ресурсный потенциал» и «прогнозные эксплуатационные ресурсы» относятся, как правило, к относительно более или менее крупным территориям и характеризуют потенциальные возможности использования ресурсов подземных вод, в то время как термин «эксплуатационные запасы» относится к конкретным оцениваемым участкам недр, на которых планируется добыча подземных вод при определенной схеме водоотбора. Отсюда следует, что прогнозные эксплуатационные ресурсы являются понятием геологическим, а эксплуатационные запасы — геолого-экономическим.

Целесообразность использования подземных вод может быть определена только на основании данных об их эксплуатационных запасах. Последние связаны с остальными видами запасов и ресурсов балансовым соотношением:

$$Q_{sy} = \alpha_1 Q_n + \alpha_2 (V_s/t) + Q_{ir}, \quad (8.1)$$

где Q_{sy} — эксплуатационные запасы, м³/сут; Q_n — естественные ресурсы, м³/сут; V_s — емкостные запасы, м³; Q_{ir} — привлекаемые ресурсы, м³/сут; t — расчетный срок эксплуатации, сут.; α_1, α_2 — коэффициенты использования динамических ресурсов и емкостных запасов.

Как видно из приведенного выражения, при $t \rightarrow \infty$, т. е. при неограниченном сроке эксплуатации второй член этого выражения становится равным нулю, и эксплуатационные запасы формируются только за счет питания, поступавшего в пласт в естественных условиях и его усиления в процессе эксплуатации.

Основными объектами количественной оценки при проведении региональных гидрогеологических исследований являются «естественные ресурсы» подземных вод и «ресурсный потенциал (прогнозные эксплуатационные ресурсы) подземных вод». Эти термины в данной работе рассматриваются как синонимы, поскольку целевая направленность данных исследований носит регио-

нальный характер, а основное значение имеют возобновляемые водные ресурсы, поэтому в дальнейшем используется термин «прогнозные эксплуатационные ресурсы». В связи с этим особое значение приобретает понятие «естественные ресурсы подземных вод» и та их часть, которая называется прогнозируемыми эксплуатационными ресурсами. Остановимся на их толковании несколько подробнее.

Под естественными ресурсами подземных вод понимается обеспеченный питанием расход подземных вод, т. е. та их часть, которая непрерывно возобновляется в процессе общего круговорота воды на Земле. Естественные ресурсы характеризуют величину питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения речного стока и перетекания из других водоносных горизонтов, суммарно выраженную величиной расхода потока. Естественные ресурсы подземных вод являются, таким образом, показателем восполнения подземных вод, отражающим их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого, и характеризуют потенциально верхний предел возможного отбора подземных вод за многолетний период без их истощения. В среднемноголетнем значении величина питания подземных вод за вычетом испарения равна величине подземного стока. Для подземных вод зоны интенсивного водообмена, находящихся в сфере дренирующего воздействия речной сети и питающихся главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков, важными характеристиками являются *коэффициенты подземного стока* и *коэффициенты подземного питания рек*. Коэффициенты подземного стока показывают отношение подземного стока к выпадающим атмосферным осадкам, т. е. часть атмосферных осадков, расходуемую на питание подземных вод за тот или иной период времени. Коэффициенты подземного питания рек (отношение дренируемого подземного стока к общему речному стоку) показывают, какая часть расхода рек обеспечена за счет их питания подземными водами.

Следует отметить, что понятие «питание подземных вод эквивалентно подземному стоку» (при этом имеется в виду инфильтрационное питание), широко используемое при региональных оценках естественных ресурсов подземных вод, требует пояснения. Во-первых, оно справедливо только для среднемноголетних данных при изучении крупных территорий (например, крупных речных бассейнов,

артезианских бассейнов или их частей, всей площади распространения водоносного горизонта и т. п.) и их картировании в мелком и среднем масштабе. При детальном исследовании отдельных участков могут быть выделены случаи, когда подземный сток существует, а инфильтрационное питание подземных вод на данном участке практически отсутствует (например, так называемый транзитный подземный сток в районах развития с поверхности мощных водоупорных толщ). Во-вторых, и это важно подчеркнуть, в ряде регионов, особенно в полуаридных и аридных районах с неглубоким залеганием грунтовых вод, важной расходной статьей баланса является величина испарения с их уровня в естественных условиях. При снижении урону воды при эксплуатации водоносного горизонта в пределах депрессионной воронки за счет прекращения испарения проявляется как бы «дополнительное» питание.

В целом надо отметить, что инфильтрационное питание подземных вод практически всегда меньше подземного стока (P), а подземный сток в реки (Pp) меньше подземного стока. Эти величины могут быть равны или близки только в особо благоприятных гидрогеологических условиях.

Особенно следует отметить, что чем меньше степень дренированности территории, тем больше разница между общей величиной подземного стока и ее частью, дренируемой руслами рек.

Важной особенностью естественных ресурсов подземных вод является различная динамичность их составляющих, время водообмена которых может изменяться от нескольких месяцев до десятков лет.

Помимо естественных ресурсов, общая величина *ресурсного потенциала* подземных вод характеризуется их емкостными запасами, представляющими из себя суммарное количество воды, содержащейся в открытых порах и трещинах горных пород. При долговременной эксплуатации эта часть ресурсной базы подземных вод относится к вековым или медленно возобновляемым запасам, однако может иметь большое значение в отдельные маловодные периоды.

Следует иметь в виду, что динамичность естественных ресурсов может полностью или частично сглаживаться за счет использования емкостных запасов в течение маловодных периодов (сезонов или маловодных лет), например работа береговых водозаборов в долинах перемерзающих или пересыхающих рек.

8.2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Изучение и оценка ресурсов подземных вод на территории России проводились, начиная с середины XX в., в системе Министерства геологии СССР, Академии наук, крупнейших вузов страны.

За прошедший период отечественными специалистами (В. А. Всеволожский, Р. Г. Джамалов, И. В. Зеленин, И. С. Зекцер, В. М. Шестопапов, В. П. Карпова, Н. А. Лебедева, И. Ф. Фиделли, Б. И. Писарский, О. В. Попов, Н. С. Ратнер, А. П. Лавров, В. И. Клименко, Б. Л. Соколов и др.) были выполнены значительные исследования по региональной оценке и картированию **естественных** ресурсов подземных вод и подземного стока отдельных крупных регионов.

При региональных оценках во многих случаях количественно естественные ресурсы приравниваются к *подземному стоку в реки*, который определяется по расчленению гидрографа реки известными в гидрологии методами. Такой подход был предложен Б. И. Куделиным (Куделин, 1960) и впервые нашел свое отражение в подготовленной под его руководством в начале 1960-х гг. «Карте подземного стока СССР» масштаба 1 : 5 000 000.

Метод оценки естественных ресурсов по расчленению гидрографа реки получил весьма широкое распространение в практике ввиду своей простоты, удобства расчетов по величине модуля подземного стока в реки по любым площадям административных, гидрогеологических районов, а также речных бассейнов.

При этом, с одной стороны, надо иметь в виду, что величина подземного стока в реки учитывается в гидрологических и водохозяйственных балансах как составная часть поверхностных водных ресурсов. С другой стороны, нельзя не учитывать, что это наименее динамичная часть поверхностных водных ресурсов, и по большей части характеризуют ее не «срочную» (на период расчетов — межень конкретного года), а многолетнюю величину.

Региональные оценки естественных ресурсов подземных вод, начиная с 1970-х гг., выполненные с применением моделирования и другими гидродинамическими методами, показали, что естественные ресурсы подземных вод, характеризующиеся среднемноголетней величиной их питания, практически всегда превышают величину подземного стока в реки за счет более или менее существенной

доли в расходных статьях баланса испарения, эвапотранспирации и пластового высачивания, которые в общей величине естественных ресурсов могут составлять от единиц до десятков процентов.

Это приводит к тому, что при приравнивании к подземному стоку в реки величина естественных ресурсов может быть существенно занижена. Поэтому в практике оценки их величины по суммарному питанию подземных вод используются гидродинамические и воднобалансовые методы.

Соотношение понятий «естественные ресурсы подземных вод», «подземный сток», «подземный сток в реки» и их величин в различных ландшафтно-климатических и гидрогеологических условиях подробно рассмотрено в (Шестопапов и др., 1988—1991); (Боревский и др., 1989), принципы районирования территории по условиям формирования естественных ресурсов подземных вод в (Всеволожский, Фиделли, 1977).

Среди исследователей по региональной оценке и картированию естественных ресурсов подземных вод следует назвать карты подземного стока территории бывшего Советского Союза в масштабах 1 : 5 000 000 и 1 : 2 500 000, карту подземного стока Центральной и Восточной Европы масштаба 1 : 1 500 000 и недавно вышедшую из печати карту гидрогеологических условий и подземного стока Земного шара в масштабе 1 : 10 000 000. Последние две карты составлены и отредактированы международной группой экспертов под руководством и при непосредственном активном участии российских специалистов в соответствии с проектами Международной гидрологической программы ЮНЕСКО.

Принципиальным отличием указанных карт подземного стока, а также аналогичных по содержанию карт подземного стока различного масштаба отдельных артезианских бассейнов России, от всех ранее опубликованных гидрогеологических карт является то, что на них впервые показаны региональные количественные характеристики естественных ресурсов подземных вод (в л/с км²) и их роль в общем водном балансе и общих водных ресурсах (в процентах от атмосферных осадков и в процентах от среднемноголетнего речного стока).

Карты подземного стока позволяют определять следующие важные параметры, связанные с комплексным использованием и охраной водных ресурсов:

— естественные ресурсы пресных подземных вод для оценки и прогноза перспектив их исследования в отдельных регионах;

— величина питания подземных вод при региональных оценках их эксплуатационных ресурсов;

— величина подземной составляющей речного стока, как наиболее устойчивая часть ресурсов поверхностных вод, с целью прогноза возможных изменений речного стока под влиянием интенсификации отбора подземных вод;

— величина подземного стока, как элемента водного баланса при перспективном планировании комплексного использования и охраны водных ресурсов отдельных регионов.

Оценка **прогнозных** ресурсов впервые была выполнена в начале 1960-х гг. под руководством Н. Н. Биндемана в рамках общесоюзной работы, которая проводилась для гидрогеологического обоснования генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР (см.: Биндеман и др., 1964; 1970). Во второй половине 1960-х — первой половине 1970-х гг. результаты этой оценки корректировались при составлении томов монографии «Гидрогеология СССР». В дальнейшем исследования по прогнозной оценке выполнялись для отдельных территорий (Нечерноземная зона Российской Федерации, интенсивно эксплуатируемые отдельные артезианские бассейны или их части, некоторые другие районы) и были продолжены после распада Советского Союза.

На основе гидрогеологических съемок, поисково-разведочных работ на отдельных участках, данных эксплуатации подземных вод, оценки и картографирования ресурсов в масштабах от 1 : 200 000 — 1 : 500 000 до 1 : 2 500 000 — 1 : 5 000 000, данных учета эксплуатационных запасов подземных вод в Геолфонде России и статистической отчетности по использованию подземных вод (отчетность по форме 2-ТП-водхоз) за последние 40—45 лет накоплен и обобщен большой фактический материал по характеристике величины ресурсов подземных вод, их качества и региональным закономерностям их формирования и распространения.

В разработку методики оценки прогнозных ресурсов и ее реализацию большой вклад внесли Н. Н. Биндеман, Л. С. Язвин, Б. В. Боровский, М. А. Хордикайнен, В. Д. Гродзенский, М. П. Полканов, С. М. Семенова-Ерофеева, А. Н. Клюквин, Д. И. Ефремов, В. К. Гохберг, И. С. Пашковский, С. С. Мирзаев, В. М. Шестопалов, В. И. Иодказис, Д. И. Пересунько, И. И. Крашин, В. С. Плотников и многие другие специалисты.

Особое значение имела разработка в 1970—1980-х гг. математических геофильтрационных мо-

делей крупных артезианских бассейнов (Московского, Причерноморского, Днепровско-Донецкого, Терско-Кумского, Азово-Кубанского, южной части Западно-Сибирского и др.), на базе которых были не только подсчитаны прогнозные ресурсы подземных вод этих бассейнов, но и выявлены основные закономерности их формирования.

Эти исследования выполнялись на базе разработанных ВСЕГИНГЕО рекомендаций по региональной оценке прогнозных ресурсов для слабо (Боровский, Язвин, 1971) и хорошо изученных районов (Пересунько и др., 1972).

Одновременно они явились одним из главных источников накопленного к настоящему времени материала по характеристике ресурсной базы подземных вод России.

Естественные ресурсы представляют собой верхний предел, который определяет питание (возможный отбор) постоянно действующих водозаборов с неограниченным сроком эксплуатации в условиях, когда геолого-гидрогеологическая обстановка позволяет довести водоотбор до величины естественных ресурсов. Практически это доступно в исключительно редких случаях. Поэтому при разработке Генсхем комплексного использования и охраны водных ресурсов используются данные по прогнозным ресурсам.

Между тем, как показал проведенный анализ результатов выполненных к середине 1990-х гг. работ, оцененные ранее прогнозные ресурсы требовали уточнения, что определялось следующими обстоятельствами:

1. Со времени проведенных ранее работ по оценке прогнозных ресурсов подземных вод прошло более 20—30 лет. За этот период был накоплен новый фактический материал по гидрогеологическим условиям и опыту эксплуатации подземных вод, позволяющий уточнить прогнозные ресурсы на ранее оцененных площадях и провести их подсчет на ранее не оцененных территориях.

2. Необходимость изменения принципиального подхода к оценке прогнозных ресурсов подземных вод. При проведенных ранее региональных оценках учитывались как возможная сработка емкостных запасов подземных вод, так и питание, поступающее в оцениваемый водоносный горизонт в процессе эксплуатации, а сама оценка выполнялась на ограниченный период эксплуатации (25—50 лет).

В то же время анализ теоретических закономерностей притока воды к водозаборным сооружениям и практического опыта эксплуатации подземных

вод показал, что удельный вес использования емкостных запасов в общем балансе водоотбора по мере увеличения срока эксплуатации, уже через 10–20 лет после ее начала, не превышает нескольких процентов, а в пределе, при неограниченном сроке работы водозабора, близок к нулю. Это совершенно не умаляет важной регулирующей роли, которую играют емкостные запасы в формировании эксплуатационных запасов подземных вод на отдельных водозаборных участках, так как для привлечения питания необходимо формирование воронки депрессии, плановые размеры и глубина которой определяются величиной водоотбора и гидрогеологическими условиями. В связи с этим при расчете конкретных водозаборов для оценки изменения уровня во времени и прогнозов изменения качества воды, необходимо учитывать емкостные запасы подземных вод. Кроме того, в некоторых случаях при периодическом питании подземных вод (например, при эксплуатации водозаборов в долинах пересыхающих и перемерзающих рек) именно величина емкостных запасов лимитирует возможный отбор подземных вод.

Однако при подсчете прогнозных эксплуатационных ресурсов питьевых подземных вод с целью оценки обеспеченности ими потребностей населения в воде хозяйственно-питьевого назначения, следует ориентироваться на весьма длительный, практически неограниченный срок эксплуатации. В этом случае многолетняя сработка емкостных запасов не должна учитываться, а в качестве источников формирования эксплуатационных ресурсов принимаются только питание водоносного горизонта (естественные ресурсы) и привлекаемые ресурсы, формирующиеся за счет поверхностных вод. Лишь в случаях внутригодового регулирования источников питания подземных вод за счет периодической сработки и последующего восполнения емкостных запасов последние следует учитывать при оценке прогнозных ресурсов подземных вод.

3. Недостаточный учет природоохранных и санитарных ограничений. При выполненных ранее региональных оценках практически не учитывалась невозможность или нецелесообразность эксплуатации подземных вод на отдельных территориях в связи с природоохранными и санитарными ограничениями. В то же время эксплуатация подземных вод не может осуществляться на площадях, занятых заповедниками. Не могут сооружаться водозаборы подземных вод на площадях разработки месторождений твердых полезных ископаемых, промышлен-

ных объектов, где практически невозможно создание зон санитарной охраны водозаборов.

4. При ранее выполненных оценках явно недостаточно учитывалась возможность эксплуатации береговых (инфильтрационных) водозаборов подземных вод, эксплуатационные запасы которых формируются путем непосредственного привлечения поверхностного стока. В то же время на отдельных территориях именно береговыми водозаборами обеспечивается или может обеспечиваться большая часть потребностей в воде при допустимом влиянии отбора подземных вод на изменение поверхностного стока.

В связи с этим во второй половине 1990-х гг. геологической службой МПР России под научнометодическим руководством компании «ГИДЭК» (Боревский, Язвин, 1995) для всей территории страны была выполнена специальная работа по оценке современного состояния ресурсов, использованию подземных вод и обеспеченности этими ресурсами потребностей населения в воде питьевого качества. Для ее проведения «ГИДЭК» была разработана новая методика оценки прогнозных ресурсов, базирующаяся на учете только естественных и привлекаемых ресурсов. Основные положения этой методики будут рассмотрены в разд. 8.7, т. к. именно результаты расчетов по этой методике приводятся в данной монографии.

8.3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И КАРТИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

При региональной оценке определяются средние характеристики естественных ресурсов подземных вод для достаточно крупных территорий, а не для отдельного локального участка. Поэтому методы расчета величины питания подземных вод по опытным данным натурных и инструментальных исследований (например, по данным лизиметрических наблюдений или путем расчета баланса грунтовых вод по опытным наблюдениям) имеют ограниченное использование и часто оказываются практически неприемлемыми для региональных исследований ввиду малочисленности таких наблюдений для многих районов и сложности их экстраполяции на значительные площади. Подобные методы могут использоваться лишь для контроля региональных величин питания подземных вод, за

исключением, конечно, тех районов, где сеть таких наблюдений столь значительна, что может быть использована и для региональной оценки естественных ресурсов подземных вод определенного балансового района.

Разработанные совместно Институтом водных проблем РАН, кафедрой гидрогеологии МГУ, ГГИ и институтом ВСЕГИНГЕО научно-методические основы региональной оценки и картирования естественных ресурсов подземных вод позволяют проводить их оценку в различных природно-климатических и гидролого-гидрогеологических условиях. Такие оценки в разных масштабах и с различной детальностью выполнены для многих регионов России.

В табл. 8.1 приведены основные методы, широко используемые в настоящее время для региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Эти методы более подробно описаны в специальной литературе (Куделин, 1960; Фиделли, 1980; Подземный сток на территории СССР, 1984; Подземный сток Центральной и Восточной Европы, 1982; Зекцер, Джамалов, 1989).

Каждый из указанных методов имеет свои достоинства и ограничения. Выбор конкретного метода расчета естественных ресурсов зависит от целей, задач и масштаба исследований и от гидролого-гидрогеологических и антропогенных условий оцениваемой территории. Однако важно подчеркнуть два обстоятельства. Первое: указанные методы региональной оценки естественных ресурсов подзем-

ных вод не конкурируют, а дополняют друг друга. Поэтому наиболее достоверный результат может быть получен при их совместном использовании. И второе: все указанные в таблице методы основаны на анализе и обработке (путем аналитических расчетов или моделирования) уже имеющейся гидрологической и гидрогеологической информации и не требуют проведения специальных дорогостоящих буровых и опытно-фильтрационных работ. Последнее обстоятельство обуславливает весьма высокую экономическую эффективность работ по региональной оценке естественных ресурсов подземных вод.

Кратко рассмотрим наиболее распространенные методы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод.

Для гумидной зоны с хорошо развитой речной сетью широко используется комплексный гидролого-гидрогеологический метод расчленения гидрографов рек за многолетний период (Куделин, 1960; Попов, 1968; Зекцер, 1977). Сущность его состоит в учете конкретных гидрогеологических условий речных бассейнов и закономерностей подземного стока в реку из всех водоносных горизонтов зоны дренирования.

Режим и динамика подземного стока в реку из отдельных водоносных горизонтов, дренируемых речной сетью, определяются условиями залегания и питания грунтовых и артезианских вод в данном речном бассейне или его части и положением мест разгрузки по отношению к урезу реки.

Таблица 8.1

Методы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод

Метод	Преимущества	Ограничения
Расчленение гидрографов рек	Возможность получения среднееголетних характеристик; возможность оценки годовой и сезонной изменчивости	Необходимость многолетних наблюдений за речным стоком в ненарушенных условиях; применимость только для зоны дренирования подземных вод
Оценка изменений меженного стока реки между двумя гидрометрическими створами	Возможность получения среднееголетних характеристик; возможность оценки годовой и сезонной изменчивости	Различия в величинах меженного стока должны превышать точность их измерений
Гидродинамический расчет баланса и расхода подземного потока (включая моделирование)	Возможность оценки естественных ресурсов отдельных водоносных горизонтов	Невозможность оценить годовую и сезонную изменчивость; необходимость осреднения гидрогеологических параметров
Среднееголетний водный баланс областей питания или разгрузки подземных вод	Возможность расчета недренируемого подземного стока	Оцениваемая величина подземного стока должна превышать погрешность определения основных компонентов водного баланса
Оценка инфильтрационного питания подземных вод по режиму их уровня	Возможность оценки естественных ресурсов отдельных водоносных горизонтов	Необходимость экстраполяции данных по отдельным скважинам; возможность применения в основном в условиях естественного режима уровня подземных вод
Оценка инфильтрационного питания по коэффициенту подземного стока	Возможность применения, независимо от степени изученности гидрогеологических условий, по данным о величине атмосферных осадков	Приближенность получаемых результатов ввиду экспертных оценок коэффициента подземного стока

В тех случаях, когда дренируемые водоносные горизонты имеют гидравлическую связь с рекой и в период весеннего половодья происходит подпор грунтовых вод, что характерно для большинства равнинных рек, расчленение гидрографа речного стока на поверхностную и подземную составляющие производится с учетом процессов берегового регулирования подземного стока.

Возможность применения этого метода обусловлена тем, что подземный сток зоны интенсивного водообмена в районах с постоянной речной сетью формируется под дренирующим воздействием речных систем. Следовательно, естественные ресурсы пресных подземных вод для гумидной зоны могут быть охарактеризованы величиной подземного стока в реки, определяемой на основе генетического расчленения гидрографа (гидрограммы) общего стока рек, и путем выделения на нем той части, которая формируется за счет дренирования водоносных горизонтов и комплексов.

В некоторых случаях величину подземного стока приблизительно можно определить путем расчета изменения меженного расхода реки на участке между двумя гидрометрическими створами. Величина изменения расхода реки на бесприточном участке (или за вычетом суммы расхода притоков), определенная в период устойчивой межени, будет характеризовать подземный сток из дренируемых водоносных горизонтов или величину питания подземных вод за счет поглощения речного стока. Гидрометрические створы должны быть выбраны таким образом, чтобы разность в расходах реки в первом и во втором створах превышала суммарную величину погрешности измерения расходов реки. В районах, где питание подземных вод осуществляется в основном за счет поглощения поверхностного стока, а также в районах широкого развития карста, указанный метод позволяет рассчитывать годовые величины естественных ресурсов подземных вод.

Преимущество указанных методов определения естественных ресурсов подземных вод заключается в возможности получения их среднесуточных характеристик в результате использования уже имеющихся гидрометрических данных по расходам рек. Эти методы являются основными при оценке подземного стока и естественных ресурсов подземных вод в областях с хорошо развитой речной сетью при наличии длительных наблюдений за расходом реки. Следует отметить, что величины подземного стока, полученные указанными методами, харак-

теризуют естественные ресурсы подземных вод всей зоны дренирования, включающей обычно несколько водоносных горизонтов и комплексов. Для того чтобы оценить естественные ресурсы каждого из основных водоносных горизонтов зоны дренирования, необходимо проанализировать гидрогеологические условия рассматриваемого района — пространство, мощность, литологический состав и проницаемость отдельных водоносных слоев — и охарактеризовать степень участия основных водоносных горизонтов в подземном питании рек.

В ряде случаев применение рассматриваемых методов затруднено или невозможно ввиду специфических особенностей отдельных регионов — значительного развития искусственного орошения, искажающего естественные условия речного стока и питания подземных вод, зарегулированности речного стока, существенного несовпадения поверхностного и подземного водосборов вследствие особенностей гидрогеологических условий речных бассейнов и других причин. Особенно важно иметь в виду искусственное регулирование речного стока, практически исключающее возможность использовать гидролого-гидрогеологический метод расчленения гидрографов рек для региональной оценки подземного стока и естественных ресурсов подземных вод. Поэтому метод расчленения гидрографов рек можно рекомендовать для небольших речных бассейнов, находящихся в естественных условиях. На зарегулированных реках при наличии длинных рядов наблюдений для расчленения гидрографов следует использовать данные измерения расходов рек до начала регулирования стока. В отдельных случаях на незарегулированных участках реки может быть применен метод расчета подземного стока по изменениям ее меженного расхода.

Несомненным недостатком гидрометрических методов является то, что по ним в большинстве районов получается заниженный результат из-за неполного дренирования подземного стока в русле реки (разд. 8.1), что приводит к большему или меньшему занижению величины естественных ресурсов в зависимости от степени дренированности рассматриваемого водосборного бассейна.

При достаточно длительных наблюдениях за режимом уровней подземных вод в естественных условиях величина питания подземных вод может быть определена путем обработки и анализа данных этих наблюдений. Она рассчитывается по отдельным скважинам по среднегодовой амплитуде колебания уровня (за многолетний период) с учетом

вида режима подземных вод и значения величины недостатка насыщения или водоотдачи. Величина водоотдачи или недостатка насыщения рассчитывается по результатам опытных работ или определяется по литературным данным с корректировкой их применительно к конкретным гидрогеологическим условиям. Последнее значительно снижает точность определения величины инфильтрационного питания подземных вод и делает его весьма условным. Применение указанного метода для региональной оценки инфильтрационного питания сложно, а часто и невозможно из-за необходимости экстраполяции величины питания, полученной в точке (скважине), на значительную площадь.

Для оценки естественных ресурсов также используется гидродинамический метод расчета расхода подземного потока по известным аналитическим зависимостям или путем моделирования. Гидродинамический метод расчета потока широко применяется в практике гидрогеологических исследований. Однако его использование для региональной оценки подземного стока определяется степенью гидрогеологической изученности исследуемых территорий (наличием и количеством скважин, по которым рассчитываются гидрогеологические параметры). Точность расчета подземного стока этим методом зависит от количества и представительности информации о значениях водопроницаемости водоносных пластов и гидравлических градиентов потоков подземных вод.

В практике гидрогеологических исследований довольно часто применяется метод оценки питания подземных вод по доли инфильтрации от атмосферных осадков или коэффициенту подземного стока. По существу этот подход основан на методе аналогии и обобщении материалов по смежным территориям. Как правило, коэффициент инфильтрации составляет около 15–20% от величины атмосферных осадков.

Итогом оценки естественных ресурсов подземных вод являются карты естественных ресурсов среднего и мелкого масштаба, на которых на фоне гидрогеологической ситуации отображаются среднегодовые значения модуля подземного стока (по площади), изолинии коэффициентов подземного стока и ряд других показаний, отражающих направление движения и границы региональных областей питания и разгрузки подземных вод. Перечень таких карт ранее приведен в разд. 8.2. На цв. вкл., рис. 11 показана в качестве примера карта Центральной части Московского региона.

В целом обязательным элементом таких карт является отражение на них модулей подземного стока в форме изолиний или соответствующих площадей, генерализированных в соответствии с масштабом карты.

Выделение этого раздела в самостоятельный связан с тем, что, с одной стороны, естественные ресурсы подземных вод являются важнейшей составляющей общих водных ресурсов суши, а с другой — основой для оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод.

8.4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И КАРТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Прогнозные эксплуатационные ресурсы, или эксплуатационные запасы, представляют собой часть общих ресурсов подземных вод, которая может быть извлечена (добыта) при некоторой условной или конкретной схеме размещения водозаборных сооружений.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод обычно подсчитываются при их региональных оценках применительно к некоторым «фиктивным» схемам размещения водозаборных сооружений (равномерным или неравномерным) в пределах отдельных водоносных горизонтов и комплексов, гидрогеологических районов, речных бассейнов или административных территорий. Их результаты могут быть обобщены на соответствующих средне- и мелкомасштабных картах оцениваемых территорий и представлены в модульной форме в л/с · км² или в л/с на пог. км.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод выполняется обычно для локальных участков недр применительно к конкретно заданной потребности в воде и выбранной для ее удовлетворения проектной или условной схеме размещения водозаборных сооружений. Такие участки обычно называют месторождениями подземных вод.

Месторождение подземных вод — пространственно-ограниченная часть водоносной системы, в пределах которой под влиянием комплекса геолого-экономических факторов создаются благоприятные по сравнению с окружающими площадями условия для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целевого использования.

Участок недр, перспективный для эксплуатации, обычно квалифицируется как месторождение подземных вод после того, как по данным геолого-разведочных работ, выполненного подсчета эксплуатационных запасов подземных вод и их государственной экспертизы установлено его промышленное значение.

Таким образом, эксплуатационные запасы подземных вод оцениваются на конкретных месторождениях. В зависимости от детальности их изученности они квалифицируются как выявленные, предварительно оцененные или разведанные. Степень изученности месторождений определяет их подготовленность для соответствующих этапов проектирования освоения или дальнейшего геологического изучения.

В отличие от ЭЗПВ прогнозные эксплуатационные ресурсы подсчитываются без конкретизации условий их отбора. В то же время при оценке их величины должна быть определена возможная доля их изъятия (коэффициент использования) из общих природных (естественных) ресурсов подземных вод.

Отношение суммарной величины подсчитанных ЭЗПВ по какому-либо району к величине прогнозных ресурсов подземных вод характеризует степень их разведанности.

Под оценкой ЭЗПВ (ПЭРПВ) принято понимать комплекс гидрогеологических прогнозов, направленных на обоснование возможности эксплуатации подземных вод водозаборными сооружениями, выполненными применительно к конкретным месторождениям (участкам) при оценке их эксплуатационных запасов, либо к отдельным гидрогеологическим районам или административным территориям применительно к оценке величины их ПЭРПВ. При этом выполняемые региональные оценки являются базой для разработки схем комплексного использования и охраны подземных вод.

Таким образом, понятие «оценка эксплуатационных запасов (прогнозных эксплуатационных ресурсов)» подземных вод определяет возможную величину водоотбора при контролируемом снижении уровня подземных вод или прогноз изменения уровня при заданном водоотборе. При этом расчетный водоотбор должен быть подтвержден с геолого-экономических позиций обоснованием кондиционности качества подземных вод за весь период эксплуатации и прогнозируемыми изменениями различных компонентов природной среды в допустимых и согласованных пределах.

Учитывая вышеизложенное, оценка ЭЗПВ включает в себя следующий комплекс определений и прогнозных расчетов:

1. Оценка источников формирования ЭЗПВ (естественные и искусственные ресурсы, емкостные запасы и пр.).
2. Расчеты производительности водозаборов и изменений уровня подземных вод.
3. Расчеты взаимодействия водозаборов.
4. Прогноз возможных изменений качества подземных вод.
5. Расчеты и обоснование границ зоны санитарной охраны (ЗСО).
6. Оценка изменений природных и гидрогеологических условий, включая оценку изменений поверхностного стока рек под влиянием эксплуатации подземных вод.
7. Геолого-экономическая оценка использования подземных вод и строительства (эксплуатации) водозаборов.

В зависимости от целей, особенностей планируемого использования подземных вод, гидрогеохимической и санитарной обстановки, отдельные расчеты из приведенных выше могут быть выполнены с различной степенью детальности. Расчеты водозаборов являются ключевыми при оценке ЭЗПВ. Расчеты и оценка остальных составляющих оценки запасов ориентированы на результаты расчетов водозаборов.

Как правило, потребителям необходимо конкретное количество воды. Исходя из заданной потребности расчеты водозаборов включают оценки динамического уровня подземных вод и их понижения на расчетный срок эксплуатации. Обоснование допустимых понижений уровня выполняется в каждом случае, исходя из совокупности гидрогеологических, экологических и технико-экономических факторов.

Оценка ЭЗПВ в большинстве случаев выполняется на неограниченный срок, однако, в специфических гидрогеологических и социально-экономических условиях такие оценки могут выполняться на условиях сработки емкостных запасов в течение заранее оговоренного срока. Обычно этот срок составляет 25–50 лет, в течение которого могут быть профинансированы поиски альтернативных источников водоснабжения.

В любом случае при оценке ЭЗПВ прогноз ожидаемых последствий эксплуатации должен быть дан еще на стадии исследований.

В отличие от оценки ЭЗПВ оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов сводится в основном

к оценке потенциальных возможностей отбора подземных вод и принципиальной оценке сохранения требуемого качества воды и допустимых воздействий на природную среду в течение длительного времени. Тем не менее, несмотря на различную целевую направленность оценок ЭЗПВ и ПЭРПВ, применяемые методы гидрогеологических прогнозов по существу идентичны и могут быть рассмотрены совместно. В то же время при использовании идентичных методов гидрогеологических прогнозов сама методика выполняемых региональных и локальных оценок может существенно различаться.

Для выполнения гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод могут применяться следующие методы: гидродинамические, гидравлические, балансовые, гидрогеологических аналогов и экспертных оценок (Биндеман, Язвин, 1970; Боровский и др., 1989). Выбор метода прогнозирования зависит от сложности гидрогеологических условий, степени их изученности, потребности в воде, целевого назначения, наличия опыта эксплуатации действующих водозаборов, водохозяйственной обстановки.

Учитывая целевую направленность данной монографии, посвященной водным ресурсам России, ниже более подробно остановимся на методике региональной оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод (или их общего ресурсного потенциала). Поскольку региональные оценки ресурсов и их методика разрабатывались в основном в СССР и России (Н. Н. Биндеман, Ф. М. Бочеве, Л. С. Язвин, Б. В. Боровский, М. А. Хордикийн и др.), ее изложение приводится применительно к этому опыту.

Региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод может проводиться для отдельных административных, природных и гидрогеологических районов, а также для территории любой страны или материка в целом с целью оценки потенциальных перспектив использования подземных вод и гидрогеологического обоснования схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Материалы региональной оценки позволяют обосновывать перспективные планы размещения и дальнейшего развития производительных сил отдельных территорий.

Важнейшей задачей региональной оценки является прогноз перспектив использования ресурсов подземных вод для водоснабжения, орошения и обводнения пастбищ.

Кроме установления потенциальных возможностей использования подземных вод с учетом влияния их отбора на поверхностный сток и другие компоненты окружающей среды, региональная оценка служит научной основой планирования поисково-разведочных работ в пределах отдельных регионов.

Необходимость региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод возрастает в связи с непрерывным увеличением их отбора и усиливающимся в связи с этим взаимодействием водозаборных сооружений подземных и поверхностных вод. В таких случаях обеспеченность эксплуатационных запасов подземных вод на каждом отдельном участке нельзя рассматривать независимо от общих прогнозных эксплуатационных ресурсов водоносной системы в целом в пределах рассматриваемого региона.

В связи с тем, что оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод или их ресурсного потенциала проводится в пределах крупных гидрогеологических регионов, она получила название региональной оценки (в отличие от локальной оценки эксплуатационных запасов в пределах отдельных месторождений или участков).

На территории России впервые региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод была выполнена в начале 1960-х гг. для гидрогеологического обоснования генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов страны. В результате этой работы была составлена карта модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод масштаба 1: 5 000 000. При этом по существу был определен общий ресурсный потенциал подземных вод применительно к равномерной сетке размещения водозаборных сооружений. Важнейшей особенностью региональных оценок РППВ является акцентирование внимания на выявлении региональных особенностей формирования эксплуатационных ресурсов.

Общие принципы и методика региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод впервые были разработаны (Биндеман, Бочеве, 1964) в связи с составлением генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР. В дальнейшем при проведении региональных оценок по отдельным регионам принципы и методика их выполнения совершенствовались с учетом специфических особенностей формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод в различных природных условиях.

Методика региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод зависит от типа выявленных и потенциальных месторождений подземных вод, распространенных на оцениваемой территории. Для месторождений подземных вод, имеющих четкие геологические границы и автономные источники формирования ЭЗПВ, применяется методика, принципиальной особенностью которой является возможность изолированного (без учета взаимодействия) рассмотрения каждого предполагаемого месторождения. В тех случаях, когда оцениваются водоносные горизонты, имеющие широкое площадное распространение, при котором границы предполагаемых месторождений проводятся условно (с учетом возможности использования земельных участков, по границам зон санитарной охраны, с учетом границ зон с водами некондиционного состава), применяется методика оценки, предусматривающая возможность учета взаимодействия отдельных месторождений друг с другом. Первая группа представляет собой месторождения, приуроченные, как правило, к небольшим по площади структурам, ограниченным в плане массивами трещинных и трещинно-карстовых пород, небольшим конусам выноса, разделенным межконусными понижениями, небольшим межгорным и внутригорным впадинам, бассейнам грунтовых вод небольших песчаных массивов и т. п. Сюда же могут быть отнесены горные районы, эксплуатация подземных вод в которых осуществляется путем каптажа отдельных крупных родников. Ко второй группе обычно относят артезианские бассейны, крупные конусы выноса, речные долины и др.

Предполагаемые месторождения первой группы выделяются по анализу геолого-гидрогеологических условий, климатических и водохозяйственных факторов. При региональной оценке ресурсов подземных вод необходимо, прежде всего, по имеющимся данным с учетом ранее разведанных месторождений и опыта эксплуатации действующих водозаборных сооружений установить, какие типы месторождений могут формироваться в оцениваемом районе и дальнейший анализ проводить применительно к возможности выявления этих типов.

Для выявления перспективных участков локализации месторождений проводится комплексный анализ геолого-гидрогеологических и физико-географических условий, антропогенной обстановки оцениваемой территории с использованием дешифрирования космоаэроснимков, данных о морфоструктурной обстановке, гидрографии, палеогеогра-

фических условиях осадконакопления, геологическом развитии, структурно-тектонических и неотектонических особенностях, литолого-фациальной изменчивости водовмещающих пород. На базе такого анализа выявляются основные критерии и признаки, обуславливающие расположение участков повышенной водопроницаемости, наиболее благоприятные условия питания подземных вод в естественной и нарушенной эксплуатацией обстановке.

После выделения возможных месторождений по геолого-структурным принципам и ориентировочного определения площадей этих месторождений масштаб их эксплуатационных ресурсов приближенно может быть установлен по общему балансу подземных вод. Для этих целей используются модули подземного стока (модули естественных ресурсов подземных вод), а в тех случаях, когда эксплуатационные ресурсы могут формироваться и за счет сработки естественных запасов, — ориентировочные значения коэффициентов водоотдачи. Балансовым расчетом устанавливается потенциальная величина эксплуатационных ресурсов. Основным методом оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов выявленных месторождений этой группы является метод гидрогеологической аналогии. Для использования этого метода для каждого оцениваемого участка устанавливаются месторождения-аналоги со сходным геологическим строением, условиями и источниками формирования эксплуатационных ресурсов и проводится сопоставление этих факторов. В тех случаях, когда эти условия и факторы достаточно близки, оценка эксплуатационных ресурсов может быть выполнена по величине их площадного или линейного модуля. Если в количественном отношении какие-либо факторы могут существенно изменяться (мощности водовмещающих пород, гранулометрический состав, возможное понижение уровня), в величину модуля эксплуатационных ресурсов необходимо внести соответствующие коррективы на основании критериев подобия. При отсутствии месторождения-аналога оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов может быть выполнена гидродинамическим методом, при использовании которого расчетная схема и гидрогеологические параметры принимаются приближенно по анализу общей геолого-гидрогеологической обстановки.

В горных районах оценку прогнозных эксплуатационных ресурсов следует выполнять по величине модуля родникового стока. Для оценки ПЭРПВ

должны быть выделены родники, которые целесообразно каптировать, и определены их среднегодовые и среднесуточные дебиты, приведенные к соответствующим минимальным величинам.

Общий ресурсный потенциал подземных вод всего гидрогеологического региона в условиях, когда выявленные предполагаемые месторождения не взаимодействуют друг с другом, определяются суммированием подсчитанных прогнозных ресурсов отдельных участков недр, перспективных для локализации месторождений и запасов разведанных и выявленных месторождений.

Региональная оценка эксплуатационных ресурсов территорий, где продуктивные горизонты имеют широкое площадное распространение, проводится в пределах крупных артезианских бассейнов платформенных и горно-складчатых областей, речных долин, конусов выноса, бассейнов грунтовых вод и других структур, где может быть выявлено большое количество месторождений, взаимодействующих друг с другом. Она осуществляется, как правило, гидродинамическим методом, при этом в зависимости от конкретных гидрогеологических условий могут быть использованы как аналитические методы, так и методы математического моделирования.

При этом при сплошной площадной оценке административных территорий, крупных природно-географических единиц или целого государства предпочтение может быть отдано упрощенным аналитическим методам (см. ниже), а при оценке запасов отдельных гидрогеологических районов, и, прежде всего, артезианских бассейнов и конусов выноса, приоритет методов математического моделирования несомненен.

Аналитические расчеты при оценке прогнозных ресурсов целесообразно выполнять в относительно простых гидрогеологических условиях для водоносных горизонтов с выдержанными фильтрационными свойствами и простыми граничными условиями. В сложных гидрогеологических условиях, особенно при наличии достаточно мощного водоотбора и сформировавшихся крупных депрессионных воронок, предпочтительным является использование методов математического моделирования. Несомненно, широкие возможности, которые представляет метод математического моделирования, целесообразно использовать при достаточной геолого-гидрогеологической изученности оцениваемого бассейна, в том числе и при наличии опыта эксплуатации.

Методика региональной оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод крупных гидрогеологических регионов имеет свою специфику в зависимости от особенностей различных типов крупных гидрогеологических структур.

В артезианских бассейнах платформенного типа региональная оценка эксплуатационных ресурсов как правило, должна выполняться методом математического моделирования в связи с многослойностью строения геологического разреза.

Для крупных артезианских бассейнов, где имеется опыт эксплуатации, первоначально в крупном масштабе на модели решается обратная задача для одной или нескольких ограниченных площадей, для которых путем анализа опыта эксплуатации действующих водозаборных сооружений определяются условия формирования прогнозных эксплуатационных ресурсов и уточняются расчетные параметры водовмещающих и слабопроницаемых отложений. В дальнейшем полученные закономерности распространяются на всю оцениваемую территорию с аналогичными условиями и выполняется моделирование всего бассейна с учетом расположения эксплуатируемых, разведанных и предполагаемых месторождений подземных вод.

В артезианских бассейнах платформенного типа с достаточно простыми условиями формирования ресурсов региональная оценка, как уже указывалось, выполняется аналитически применительно к принимаемой схеме размещения месторождений различной степени изученности. Для целей расчета вся оцениваемая площадь разбивается на блоки, количество которых соответствует числу эксплуатируемых, разведанных и предполагаемых месторождений и отдельных водозаборных участков, т. е. площадь распространения водоносного горизонта покрывается равномерной или неравномерной сеткой водозаборных сооружений.

При выборе шага сетки расположения скважин следует исходить из следующих показателей:

- 1) густота имеющихся и проектируемых водопотребителей городских и сельских населенных пунктов на оцениваемой территории;
- 2) природная обстановка, определяющая условия и возможность размещения будущих объектов водопотребления (характер рельефа местности, заболоченность, наличие месторождений полезных ископаемых, застроенность и др.);
- 3) целевое назначение будущего водопотребления (водоснабжение или орошение).

В зависимости от перечисленных условий шаг сетки наиболее часто может приниматься от 5 до 25–30 км. В ряде районов могут быть использованы неравномерные сетки, шаг которых по площади не остается постоянным (с учетом расположения конкретных водопотребителей).

Рассмотрим особенности региональной оценки эксплуатационных ресурсов для районов с другими типами месторождений подземных вод.

В пределах конусов выноса водозаборные сооружения наиболее часто представляют собой линейные ряды, расположенные параллельно контуру выклинивания подземных вод в областях с достаточно высокими фильтрационными свойствами водовмещающих пород. Расчеты выполняются применительно к такой схеме водоотбора. Однако это не исключает, что водозаборные сооружения могут быть расположены по сетке, шаг которой определяется гидрогеологическими условиями и размещением существующих и потенциальных водопотребителей. Тогда расчеты выполняются так же, как в артезианских бассейнах.

При оценке эксплуатационных ресурсов в этих условиях необходимо учитывать планируемые изменения водохозяйственной обстановки.

Региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод месторождений речных долин имеет ряд особенностей, связанных с размерами этих долин и условиями взаимосвязи подземных и поверхностных вод. В узких речных долинах при активной связи подземных и поверхностных вод, когда весь период эксплуатации основным источником формирования эксплуатационных запасов является поверхностный сток, оценка эксплуатационных ресурсов проводится применительно к водозаборному сооружению, представляющему собой линейный ряд, расположенный параллельно реке. В пределах долины выделяются отдельные месторождения, границы которых устанавливаются с учетом застроенности территории, возможности организации зон санитарной охраны, изменения водопроницаемости водовмещающих пород и т. д. По каждому месторождению определяются линейные модули эксплуатационных ресурсов. Их величина определяется гидродинамическим методом по формулам Маскета—Лейбензона или Форхгеймера, а также по данным эксплуатации. Величина модуля используется для оценки перспективных эксплуатационных ресурсов в пределах выделенных месторождений подземных вод.

Если гидрогеологические условия, определяющие интенсивность привлечения поверхностного стока на участке действующего водозаборного сооружения и оцениваемого месторождения, различны (мощности, состав и коэффициент фильтрации водовмещающих пород, русловых отложений, достигнутое и возможное понижение уровня), то в величину линейного модуля следует вводить коррективы. Определенная по линейному модулю (или по расчету водозаборных сооружений) величина прогнозных эксплуатационных ресурсов должна быть сопоставлена с пропускной способностью русла реки и с общей величиной поверхностного стока.

При оценке прогнозных эксплуатационных ресурсов речных долин с периодическим или ограниченным в меженный период поверхностным стоком в случае наличия достаточной регулирующей емкости следует учитывать возможность использования емкостных запасов в маловодный период при условии их восполнения в паводки.

Работы по региональной оценке выполняются преимущественно камеральным путем. Наиболее ответственным этапом работ является подготовка исходных данных.

Работы по подготовке исходных данных и проведению региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод рекомендуется проводить в такой последовательности:

1. Сбор необходимых гидрометеорологических, геологических, гидрогеологических и геофизических материалов по оцениваемой территории: это геологические и гидрогеологические карты и разрезы, результаты геофизических работ, данные по разведке подземных вод и эксплуатации водозаборных сооружений, бурению и опробованию скважин, о минерализации и химическом составе подземных вод, данные наблюдений за их режимом, родниковым стоком, режимом речного стока в многолетнем разрезе на гидрометрических створах и т. п.

2. Выделение на основании анализа и обобщения фактического материала водоносных горизонтов, пригодных для водоснабжения, для которых строятся карты уровенной поверхности, величин напоров над кровлей, мощностей и литологии водовмещающих пород и разделяющих слабопроницаемых пластов, глубин залегания горизонтов и статических уровней, а также гидрохимические карты.

3. Сбор данных по опорным значениям гидрогеологических параметров, а при необходимости — переинтерпретация опорных данных опытных работ

и наблюдений за режимом эксплуатации действующих водозаборных сооружений.

4. Специальное гидрогеологическое районирование и типизация выделенных районов по условиям распространения продуктивных водоносных горизонтов и особенностям формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод оцениваемых горизонтов. При этом учитываются данные о геологическом строении, изменении водопроницаемости пород в плане и разрезе, емкостных свойствах пород, особенностях взаимосвязи оцениваемых водоносных горизонтов с выше- и нижележащими, а также поверхностными водоемами и водотоками.

Первоначальной основой специального районирования является схематизация разреза оцениваемой территории с выделением районов с различными продуктивными горизонтами и разным их количеством, по которым должны быть оценены прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод. Дальнейшее более дробное районирование производится на основе схематизации разреза для выделения оцениваемых водоносных горизонтов (комплексов).

5. Выполнение при необходимости специальных гидрологических, буровых, опытных, геофизических, лабораторных и других работ на опорных участках, направленных на выявление основных принципиальных особенностей формирования эксплуатационных ресурсов в типовых районах.

6. Оценка динамических ресурсов подземных вод. Для этого можно использовать следующие методы: генетическое расчленение гидрографов рек; расчет расхода потока по формулам динамики подземных вод; определение подземного стока по изменению меженного расхода реки между двумя гидрометрическими створами; определение величины питания по данным наблюдений за режимом подземных вод в естественных условиях, по величине инфильтрации, родниковому стоку и др.

7. Выбор наиболее рационального метода оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод и обоснование природной гидрогеологической модели оцениваемого региона.

8. Обоснование для выделенных расчетных районов необходимых расчетных гидрогеологических параметров (водопроницаемости, водоотдачи, пьезопроводности, уровнепроводности, динамических и привлекаемых ресурсов, мощности водоносного горизонта, величины допустимого понижения уровня воды, расчетного срока эксплуатации водозаборных сооружений).

9. Принятие расчетной схемы размещения водозаборных сооружений по площади распространения водоносного горизонта.

10. Подсчет прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод по участкам, водоносным горизонтам, региону в целом.

11. Оценка возможного изменения речного стока при эксплуатации подземных вод.

12. Выделение ранее разведанных, предварительно оцененных и выявленных эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов.

Результаты оценки эксплуатационных запасов подземных вод отражаются на планах подсчета запасов, результаты оценки прогнозных ресурсов представляются на соответствующих картах в модульной форме (площадей или изолиний). На этих картах обязательно выделяются границы оцениваемых районов (гидрогеологические, гидрографические, природно-географические, административные). Кроме того, на карты выносятся все ранее разведанные месторождения, границы вод различного качества и т. д. Более подробно этот вопрос рассмотрен в разд. 8.7.

8.5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Анализ имеющихся карт разного масштаба по территории бывшего Советского Союза позволяет установить основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод (подземного стока) в разнообразных природно-климатических и геолого-гидрогеологических условиях в пределах России.

Многолетними работами отечественных ученых установлено, что распределение основных количественных характеристик естественных ресурсов подземных вод по территории регионов отличается резкой неравномерностью и четко выраженной дифференцированностью по основным геологическим элементам и ландшафтно-климатическим зонам. Наиболее общей закономерностью является различный характер распределения удельных характеристик естественных ресурсов в пределах платформенных (равнинных) территорий и горно-складчатых сооружений при диапазоне изменения величин среднемноголетних модулей со-

ответственно от менее 0,1 до 6,0–6,8 л/с и от 0,1 до 30–50 л/с · км². На территории бывшего СССР более 55% общего объема подземного стока формируется в пределах горно-складчатых областей, около 42% принадлежит обширным пространствам плит (Русской, Западно-Сибирской, Туранской), и только 3–4% общей величины подземного стока приходится на долю кристаллических щитов. Распределение водных ресурсов по наиболее крупным геолого-структурным и гидрогеологическим районам России показано в табл. 8.2.

Таблица 8.2

**Распределение водных ресурсов
в наиболее крупных районах России**

Район	Площадь, тыс. км ²	Ресурсы, км ³ /год		
		поверхностных вод (общий речной сток)	подземных вод (подземный сток)	соотношение подземных и поверхностных вод
Русская плита	4060	719	170,0	0,24
Уральская гидрогеологическая складчатая область	462	79	25,4	0,32
Западно-Сибирская артезианская область	2919	583	136,9	0,23
Сибирская плита	3500	738	108,9	0,15
Верхояно-Чукотская гидрогеологическая область	2420	538	65	0,12

Анализ распределения величин подземного стока по основным ландшафтно-климатическим зонам показывает, что более 80% общего объема подземного стока приурочено к избыточно увлажненной и влажной зонам, около 18% стока формируется в зоне недостаточного увлажнения и лишь около 2% — в засушливой зоне.

На территории континентальных платформ характерно закономерное распределение параметров подземного стока в соответствии с общеширотным воздействием климатических факторов. Для равнинной территории как общая закономерность прослеживается широтная зональность — уменьшение коэффициентов подземного стока с северо-запада на юго-восток, с 10–20% в зоне избыточного увлажнения до 1% и менее в степных и полупустынных районах.

На равнинных пространствах европейской территории России происходит общее уменьшение подземного стока с северо-запада на юго-восток,

что отражает общее уменьшение в этом же направлении количества осадков от 700–600 до 400–300 мм/год в сочетании со значительным увеличением испаряемости. Последнее приводит к тому, что на юго-востоке потенциально все количество выпавших осадков может быть израсходовано на испарение, и только благодаря сезонным особенностям распределения осадков питание подземных вод все же происходит в осенне-зимний и весенний периоды.

Влияние испарения на величины и распределение подземного стока может быть показано на примере Русской плиты. При равном количестве атмосферных осадков (около 600 мм/год) в северной части Печорского артезианского бассейна при испарении около 300 мм/год модуль подземного стока достигает 1–3 л/с · км², в то время как на юго-западе он резко уменьшается вследствие значительного увеличения испарения до 500 мм/год.

Общее уменьшение модуля подземного стока в пределах Западно-Сибирской низменности от 2–3 л/с · км² в низовьях Оби до 0,5–0,3 л/сек · км² в Барабинской и Кулундинской степях также отражает широтную зональность климатических факторов. Наибольшие значения модуля подземного стока в Западной Сибири (до 3,5 л/с · км²) наблюдаются на территории Обь-Пуро-Тазовского междуречья (Сибирские увалы), характеризующейся значительным увлажнением и благоприятными гидрогеологическими условиями (широкое распространение песчаных флювиогляциальных и озерно-ледниковых отложений). К северу от этого района модуль уменьшается до 0,5 л/с · км², что связано с меньшим количеством осадков и развитием многолетнемерзлых пород. К югу от Сибирских увалов снижение величин подземного стока до 0,2 л/с · км² определяется увеличением сухости климата. Общая широтная зональность, отмечаемая для Западно-Сибирской артезианской области, нарушается вблизи горных хребтов Урала и Алтая, где в значительной степени проявляется высотная поясность климатических факторов в этих районах.

В пределах Восточной Сибири широтная зональность климатических факторов проявляется в сочетании с явлениями многолетней мерзлоты. Здесь происходит общее увеличение подземного стока с севера (около 0,5 л/с · км²) на юг (до 3–4 л/с · км² и более), что обусловлено увеличением в этом направлении атмосферных осадков от 300 мм/год на севере Яно-Индибирской низменности до 800 мм/год на юге территории, где на величине

осадков уже начинает сказываться влияние рельефа. На севере неблагоприятные условия питания подземных вод осадками определяются развитием многолетнемерзлых пород.

В горно-складчатых областях распределение величин подземного стока определяется главным образом резкими изменениями типа геофильтрационных сред и орографическим увеличением осадков с высотой местности. В этих областях высокие значения модулей подземного стока обусловлены широким распространением проницаемых трещиноватых пород в собственно горно-складчатых сооружениях и высокопроницаемых крупнообломочных отложений в межгорных впадинах, что в сочетании с глубокой эрозионной расчлененностью рельефа и значительным количеством атмосферных осадков определяет благоприятные условия питания подземных вод (Фиделли, 1980).

Значительное влияние на распределение величин подземного стока в горных районах оказывает улучшение условий инфильтрационного питания подземных вод, связанное с увеличением трещиноватости и выветрелости пород с высотой, а также и вид атмосферных осадков. Твердые осадки, удельный вес которых увеличивается с высотой, в большей степени расходуется на питание подземных вод, чем кратковременные дождевые осадки.

Увеличение подземного стока с высотой местности наблюдается также в пределах платформ, где на возвышенностях происходит увеличение атмосферных осадков (Валдайская, Средне-Русская, Приволжская и другие возвышенности). К депрессиям рельефа, как правило, относятся участки пониженных значений модуля подземного стока, что объясняется также слабой расчлененностью местности (например, Ильменская, Мещерская низменности и др.).

На общем фоне закономерного распределения подземного стока, определяемого влиянием климатических факторов и рельефа, находят проявление особенности формирования подземного стока в зависимости от гидрогеологических факторов и, прежде всего, состава и мощности зоны аэрации и водопроницаемости водовмещающих пород. Наиболее наглядно это влияние проявляется в районах развития интенсивно закарстованных пород, грубообломочных отложений конусов выноса, аллювиальных отложений современных и древних преуглубленных речных долин, хорошо проницаемых флювиогляциальных пород, где увеличивается подземный сток.

Конкретное проявление влияния закарстованности пород, определяющих величину их проницаемости, на распределение подземного стока может быть показано на многочисленных примерах. Так, на территории Русской плиты с карстом связано повышение модуля подземного стока на участках Онего-Северо-Двинского междуречья до $3-6 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ (при зональном модуле $2-2,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$), на Силурийском плато — до $6 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ (при зональном модуле — в $2,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$).

Влияние интенсивной закарстованности пород сказывается в распределении величин подземного стока и в горноскладчатых областях, что наглядно может быть показано на примере Урала. Для речных бассейнов западного склона Урала, в которых широко распространены интенсивно закарстованные горные породы, модуль подземного стока превышает в несколько раз модуль подземного стока для бассейнов, где процессы карсто-образования не проявляются. Наибольшие значения модуля подземного стока ($10 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$ и более) на Урале приурочены к бассейну среднего течения рек Шугоры, Вишеры, Косьвы и других, где развиты карстующиеся породы палеозоя.

Аналогичные примеры влияния интенсивной закарстованности пород на условия формирования подземного стока имеются на азиатской территории России. Так, в пределах Саяно-Алтайской горноскладчатой области на западных склонах, сложенных палеозойскими карбонатными породами, средне-многолетний модуль подземного стока достигает наибольших значений $5-9 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ при фоновом значении модулей от 1 до $2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. На территории Верхояно-Чукотской горноскладчатой области наибольшее значение средне-многолетнего модуля подземного стока составляет $2,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, что связано с серией глыбовых поднятий Колымского срединного массива, сложенных закарстованными карбонатными толщами. В бассейне среднего течения Амура в районе хребта Малый Хинган, где дренируются водообильные карбонатные породы протерозоя и кембрия, подземный сток увеличивается до $3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

В карстовых районах наблюдается заметное повышение не только среднегодовых модулей подземного стока, но и минимальных. Так, в период устойчивой межени средне-многолетний модуль р. Вишера достигает $4,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, а для закарстованных бассейнов рек восточного склона Урала — $1,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, на Уфимском, Онего-Северо-Двинском плато он равен $3-3,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, а на Кулойском плато — до $4,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

и выше, в то время как в незакарстованных бассейнах рек минимальные модули подземного стока для указанных районов находятся в пределах $1-2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Значительное увеличение минимальных модулей подземного стока по сравнению с зональными их значениями наблюдается в карстовых районах бассейна Средней Волги и др.

Локальные особенности распределения подземного стока часто обусловлены изменениями величин водопроницаемости водовмещающих пород или изменениями в проницаемости пород зоны аэрации. Так, возрастание модулей подземного стока до $3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ и более наблюдается и в краевой зоне Московского артезианского бассейна, что обусловлено выходом на поверхность или неглубоким залеганием водообильных известняков карбона, тогда как на окружающей территории, сложенной терригенными отложениями мезозоя, модули подземного стока в аналогичных климатических условиях уменьшаются до $1,5-1,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ и т. д.

На условия формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод в азиатской части и на отдельных участках северо-востока Русской плиты, Тимана и Урала значительное влияние оказывает многолетняя мерзлота. Наличие многолетнемерзлых пород приводит к расчленению верхней толщи земной коры на зону сезонного подземного стока в деятельном слое, мерзлую зону, в которой практически не происходит движения подземных вод в жидкой фазе, и зону подмерзлотных вод. При этом важное значение имеет сплошность распространения и мощность толщи многолетнемерзлых пород. Чем больше сплошность распространения и мощность толщи, тем менее благоприятны условия формирования зоны интенсивного подземного стока. Так, модуль подземного стока в бассейне Лены уменьшается от 3 в верховье до $0,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ в низовье, что связано с переходом от зоны островного развития многолетнемерзлых пород к зоне сплошного распространения наряду с увеличением ее мощности в том же направлении. Низкие значения среднемноголетнего модуля подземного стока (до $0,01 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$) в Вилюйской синеклизе объясняются развитием здесь толщи многолетнемерзлых пород, достигающей 600 м.

Относительно повышенные высокие модули подземного стока в зоне развития сплошной мерзлоты связаны прежде всего с подземным сезонным стоком деятельного слоя и не свидетельствуют о соответствующих ресурсах подземных вод, пригодных для водоснабжения.

Важной особенностью формирования подземного стока на территории развития многолетнемерзлых пород является зимняя аккумуляция больших объемов подземных вод в наледях. Интенсивная аккумуляция подземных вод в наледи резко снижает речной сток в зимнее время. В теплое время года сток от таяния наледей повышает питание рек. Таким образом, явление наледообразований приводит к наледному регулированию подземного стока, к его сезонному перераспределению, что должно учитываться при количественной оценке естественных ресурсов подземных вод. Сами наледы служат хорошим индикатором мест интенсивной разгрузки подземных вод. В то же время одна из характерных особенностей формирования подземных вод зоны распространения многолетнемерзлых пород — наличие прирусловых таликов, часто являющихся обильными источниками пресных вод.

Методы корреляционного и регрессионного анализов дают возможность объективно оценить влияние различных природных факторов на формирование естественных ресурсов подземных вод отдельных районов. Для ряда районов России (Северо-Запад, Восточная Сибирь, центральная часть европейской территории) установлены парные и множественные связи подземного стока зоны интенсивного водообмена с различными геолого-гидрогеологическими и геоморфологическими факторами, а также со среднемноголетними величинами осадков и испарения. Как и следовало ожидать, наиболее высокие коэффициенты корреляции (до 0,8 и выше) характеризуют связь величин подземного стока и мощности зоны аэрации (для водоносных горизонтов, являющихся первыми от поверхности) или мощности перекрывающих отложений (для более глубоких водоносных горизонтов). Оба эти фактора служат показателями фильтрационного сопротивления пород на верхней границе водоносных горизонтов и определяют условия их питания.

Установлены тесные связи между величинами подземного стока и значениями коэффициента водопроницаемости и гидравлического градиента, характеризующих фильтрационные свойства водовмещающих пород и определяющих расход потока.

Полученные методами корреляционного и регрессионного анализов связи подземного стока с различными природными факторами в ряде случаев могут быть использованы для прогноза естественных ресурсов подземных вод по значениям факторов, для которых известны прогнозируемые значения.

На участках, где верхние водоносные горизонты зоны интенсивного водообмена сложены преимущественно глинистыми, глинисто-карбонатными кремнисто-глинистыми породами (глинистые пески, мергели, опоки, тонко- и мелкозернистые песчаники и др.), условия формирования естественных ресурсов подземных вод являются в целом недостаточно благоприятными. Как правило, в этих случаях наиболее перспективные участки с относительно высокими характеристиками ресурсов подземных вод связаны, главным образом, с бортами и днищами современных и древних речных долин разных порядков.

Как отмечалось выше, климатические условия территории придают формированию ресурсов подземных вод артезианских областей выраженный широтный характер, который наиболее резко проявляется при переходе от зон умеренного и избыточного увлажнения к зоне недостаточного увлажнения и от зоны островной многолетней мерзлоты к зоне таликовой мерзлоты и зоне сплошного промерзания.

В первом случае это прямо связано с закономерным сокращением годовой суммы осадков и увеличением значений суммарного испарения, во втором — с постепенным промерзанием верхней части гидрогеологического разреза, что резко ухудшает условия инфильтрационного питания подземных вод и условия взаимодействия водоносных горизонтов верхней части гидрогеологического разреза.

В пределах каждой широтной климатической зоны связь удельных величин естественных ресурсов подземных вод с основными факторами метеорологической группы (годовой суммой осадков, коэффициентом увлажнения), исследованная на основе использования методов парной корреляции, существенно различна. Распределение значений модуля подземного стока более тесно связано с коэффициентами увлажнения, учитывающими отношение годовой суммы осадков к величине испаряемости.

Такая связь практически отсутствует в пределах зон умеренного и избыточного увлажнения (коэффициент корреляции $r=0,02$) и карстовых районах Русской плиты ($r=0,05$). Это вполне объяснимо, поскольку в условиях достаточного увлажнения распределение величин подземного стока контролируется главным образом геолого-гидрогеологическими факторами (строением гидрогеологического разреза, типом водовмещающих пород, строением зоны аэрации и др.). Более значимая,

но также слабая связь ($r=0,20-0,38$) установлена в пределах зоны недостаточного увлажнения на Русской плите, где годовые суммы осадков и коэффициенты увлажнения можно рассматривать как существенный фактор, обуславливающий распределение величин естественных ресурсов подземных вод.

Значимые величины коэффициента корреляции ($0,62-0,96$) получены только по выборкам, составленным для районов относительно однотипных в геолого-гидрогеологическом отношении. При этом максимально высокими значениями коэффициента корреляции ($0,70-0,96$) характеризуются центральные районы Западно-Сибирской плиты.

Таким образом, рассмотренные закономерности позволяют сделать вывод о необходимости учитывать при оценке естественных ресурсов и модулей подземного стока и использовании их затем при подсчете прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод природно-климатическую зональность, региональные и локальные особенности геолого-гидрогеологических условий. Распределение поверхностных и подземных водных ресурсов в наиболее крупных районах России и доля подземных вод по отношению к поверхностным приведены в табл. 8.2.

8.6. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ПИТЬЕВЫХ ВОД

8.6.1. Общие положения

Российская Федерация занимает территорию более 17 млн км², от островов Северного Ледовитого океана до субтропиков Черноморского побережья Кавказа, что определяет ярко выраженную природно-географическую зональность и крайне неравномерные условия формирования подземных вод как в горно-складчатых, так и равнинных районах. Почти 60% страны в северных и восточных районах занимают многолетнемерзлые горные породы с температурой от 0 до минус 10–12 °С. Их мощность на севере Якутии достигает 1200–1500 м, но в нижней части там находятся т. н. криопэги — соленые воды и рассолы с отрицательной температурой. Питьевые подземные воды достаточно редки и находятся в толще аллювиальных отложений. Южная часть европейской части России и Западной

Сибири находится в аридных и полуаридных условиях, где формируются в основном соленые и соленоватые воды.

На основной территории страны подземные питьевые воды с суммарной минерализацией до 1,0 г/л достаточно широко, хотя и весьма неравномерно, распространены в верхней части геологического разреза. Мощность зоны развития питьевых подземных вод обычно составляет 100–150 м, но в зависимости от близости областей питания, количества атмосферных осадков, наличия глинистых, галогенных или многолетнемерзлых пород в разрезе может измениться от 0 до 350–500 м.

В засушливых степных и равнинных районах юга России подземные питьевые воды встречаются только в пределах речных отложений и в незначительных количествах. Возраст подземных питьевых вод, судя по изотопным данным, изменяется от менее одного года до 3000–5000 лет в зависимости от условий их залегания и интенсивности водообмена.

Основные наиболее крупные и многочисленные месторождения питьевых подземных вод разведаны и используются:

- а) в пределах аллювиальных отложений предгорных и равнинных районов страны;
- б) на территориях развития закарстованных карбонатных пород;
- в) в пределах распространения морских и прибрежных песчаных пластов артезианских гидрогеологических структур различного возраста;
- г) на территориях развития флювиогляциальных песчаных отложений европейской территории страны.

На огромной территории России в различных физико-географических и геологических условиях подземные питьевые воды чрезвычайно разнообразны по своему количеству и качеству, степени изученности, использованию, характеру загрязнения.

Качество питьевых вод нормируется следующими основными документами:

1. ГОСТ 2874–81 «Вода питьевая».
2. СанПиН 2.1.4. 1074–01.
3. Перечень ПДК вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Суммарное содержание регламентируемых санитарными органами страны в питьевых водах веществ достигает 1500 и постепенно увеличивается. Основной их состав составляют техногенные, искусственно созданные вещества, имеющие часто

наибольшую токсичность. Специалисты утверждают, что реально в природных водах могут находиться до 50 тыс. искусственно созданных веществ, имеющих различную степень токсичности (Никитин, Новиков, Рошин и др., 1990). Реально техногенные вещества никогда не определяются в полном объеме вследствие дороговизны и сложности такого анализа.

Качество подземных питьевых вод определяется величиной их общей минерализации и связанными с ним содержаниями макро- и микрокомпонентов, включая радиоактивные природные и техногенные вещества, физико-химическими, микробиологическими и биологическими показателями.

По показателям качества подземные питьевые воды разделяются на различные классы. Среди природных вод выделяются:

— воды, удовлетворяющие международным и отечественным требованиям высшего класса качества;

— питьевые воды, отвечающие требованиям отечественных стандартов;

— подземные воды с концентрациями Fe, Mn и F, превышающими установленные нормативы. Существующими технологиями они могут быть доведены до требуемых кондиций;

— подземные воды с общей минерализацией до 1,5 г/дм³, имеющие концентрации сульфатов, хлоридов, азотистых или других соединений более ПДК_в. Их употребление разрешается только после распоряжения главного санитарного врача России и в связи с отсутствием в районе питьевых вод лучшего качества;

— подземные воды, имеющие концентрации стронция, бора, кремнистых соединений, брома, бериллия, селена, органических и других веществ выше ПДК_в. Технология очистки питьевых вод от названных компонентов находится в стадии лабораторных испытаний и они не пригодны пока для централизованного водоснабжения.

Качество и ресурсы питьевых подземных вод взаимосвязаны — чем больше ресурсы, интенсивнее водообмен, тем лучше качество.

Среди техногенно загрязненных питьевых подземных вод могут быть выделены:

— воды, находящиеся в начальной стадии загрязнения, но удовлетворяющие требованиям действующих нормативных документов. Необходим повышенный контроль их качества и поиски новых источников централизованного водоснабжения;

— подземные воды в пределах водозабора частично загрязнены отдельными природными веществами выше ПДК. Необходим анализ ситуации, закрытие и тампонаж одних скважин и введение в строй других;

— подземные воды в пределах водозабора загрязнены рядом техногенных и природных веществ и не могут использоваться для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, но могут быть использованы для технических целей. Необходим комплексный анализ ситуации и срочное решение проблемы питьевого водоснабжения населения.

Сравнение качества поверхностных и подземных питьевых вод позволяет сделать следующие принципиальные замечания (Боревский, Закутин, Плотникова и др., 2005):

1) поверхностные воды в гораздо большей степени, чем подземные, подвержены промышленному, сельскохозяйственному и бытовому загрязнению, несмотря на принимаемые меры по очистке питьевой воды перед подачей населению;

2) естественный гидрохимический режим поверхностных вод вследствие влияния природных климатических и техногенных факторов в значительно большей степени затрагивает качество источников питьевого водоснабжения по сравнению с защищенными подземными водами;

3) для подавляющего большинства загрязненных поверхностных вод искусственно созданными веществами, которых насчитывается десятки тысяч, нет достаточно точных и сравнительно недорогих методов их определения, методов и технологий очистки;

4) большинство техногенно созданных веществ имеет более высокую степень токсичности по сравнению с природными соединениями, распространенными в подземных водах;

5) естественная очистка поверхностных вод осуществляется за счет их разбавления чистыми природными водами, выпадения загрязняющих веществ в осадок, их сорбции, разрушения, биологических факторов очистки, но перечисленные факторы, как правило, не могут вывести из раствора основное количество стойких загрязняющих веществ;

6) подземные воды в большей степени, чем поверхностные, содержат необходимые для нормального развития человеческого организма растворенные вещества — кальций, магний, калий, натрий, азотистые, фосфорные и сернистые соединения;

7) подземные воды имеют большую степень распространения, чем поверхностные.

Проблема поисков, оценки состояния и защиты природных источников централизованного водоснабжения населения становится одной из основных во многих странах мира в связи с быстрым ростом городского населения. В нашей стране для самых крупных городов с численностью населения более 1 млн человек качественной питьевой воды в большинстве случаев не хватает. Индивидуальные фильтры пока не могут выправить положение из-за их дороговизны и быстрого выхода из строя. Возникает и частично начинает разрешаться крупная народно-хозяйственная проблема разделения существующих водопроводов на чисто питьевое и техническое водоснабжение с различными требованиями к качеству воды.

В значительной степени указанные вопросы могут быть решены за счет замены поверхностных источников водоснабжения защищенными от загрязнения подземными водами.

8.6.2. Геохимические провинции

Геохимические провинции — это природные области распространения питьевых подземных вод, обогащенных нормируемыми химическими элементами до уровня, соизмеримого и превышающего ПДК. Наиболее распространенными химическими элементами питьевых подземных вод являются железо, фтор, стронций, бор, марганец, кремний, бром, бериллий, селен и некоторые другие элементы. Повышенные концентрации перечисленных элементов в зоне активного водообмена могут быть связаны со следующими причинами:

— обогащенность водовмещающих пород перечисленными элементами, находящимися в водорастворимых формах;

— возникновение в подземных водах благоприятных физико-химических обстановок (величины pH, Eh) для перехода нормируемых элементов из пород в воду и др.

В основных чертах, благодаря работам отечественных ученых-гидрогеологов С. Р. Крайнова, В. М. Швеца, В. П. Закутина, М. С. Голицына, С. Л. Шварцева, К. Е. Питьевой и др., достигнута сравнительно высокая степень изученности нормируемых элементов в подземных водах различного состава, степени минерализации и условий их нахождения.

В сравнении с геохимической изученностью загрязнения поверхностных вод многими тысячами нормируемых и ненормируемых пока веществ изу-

ченность подземных вод нашей страны представляется на порядок более высокой. И это является одним из решающих факторов в выборе надежных источников централизованного водоснабжения.

Геохимические провинции подземных питьевых вод очень многообразны по набору и соотношениям компонентов, физико-химическим показателям, имеют широкое распространение, но изучены пока лишь в общих чертах, хоть и несравненно лучше чем загрязненные поверхностные воды. Кратко охарактеризуем их.

Железистые подземные воды с суммарной концентрацией Fe^{+2} , Fe^{+3} , Fe — органических соединений более $0,3\text{--}1$ мг/дм³ широко распространены среди питьевых подземных вод. Это связано с высоким содержанием железа в породообразующих глинистых минералах, окислах и сульфидах, широко распространенных в осадочных, изверженных и метаморфических горных породах. В зоне свободного водообмена, где развиты питьевые подземные воды, на переход железа из горных пород в подземные воды в большой степени влияют содержание органических веществ, величины рН и Eh. В общем случае, чем больше содержание органических веществ и ниже значения рН и Eh, тем легче железо будет переходить из горных пород в подземные воды. Содержание железа может достигать в питьевых водах равнинных территорий страны десятков мг/дм³. Отмеченные гидрогеохимические показатели тесно связаны с интенсивностью водообмена в водоносных пластах — чем интенсивнее водообмен, тем ниже будут концентрации железа и других элементов в водоносных горизонтах. Интенсивность водообмена зависит от гранулометрического состава водовмещающих пород и рельефа местности и будет максимальной в горных и предгорных районах страны, где развиты обломочные осадочные породы и сравнительно мало глинистых минералов.

В связи с переменной валентностью, тесной зависимостью концентраций железа от интенсивности подземного водообмена, содержание элемента в пределах сложных пластовых месторождений изменяется в большой степени в естественных и, тем более, в условиях эксплуатации. При длительной эксплуатации месторождений содержание железа в питьевой воде, как правило, уменьшается в связи с увеличением величины Eh и ростом интенсивности водообмена по наиболее проницаемому водоносному слою. Однако осаждение растворенного железа в призабойной зоне скважин в форме гид-

роокислов может привести к их быстрому выводу из строя.

Провинции железистых подземных вод в наибольшей степени охватывают аллювиальные и флювиогляциальные отложения гумидной зоны страны и протягиваются от берегов Прибалтики до Дальнего Востока. Они характеризуются резкой фациальной неоднородностью водообильности пород и многократным изменением концентраций железа в питьевых водах даже в контуре одного месторождения. Существующие методы водоподготовки подземных вод могут уменьшить содержание железа в питьевых водах до необходимых кондиций.

В пределах областей развития карбонатных и песчаных пластов артезианских бассейнов содержание железа в питьевых подземных водах резко уменьшается в связи с изменением физико-химических условий и более высоким водообменом.

Фтороносные подземные воды с содержанием фтора более $1,5$ мг/дм³ (ПДК_в) пользуются сравнительно небольшим распространением в области развития осадочных терригенных и карбонатных пород, обогащенных ратовкитом (землистой разновидностью флюорита — CaF_2) и в области развития щелочных изверженных пород.

По данным С. Р. Крайнова, В. М. Швеца, С. Л. Шварцева и других исследователей в пластах, обогащенных ратовкитом, содержание фтора в питьевых водах может достигать $3\text{--}4$ мг/дм³ и, как редкое исключение, — $6\text{--}7$ мг/дм³. Пласты, обогащенные ратовкитом, протягиваются вдоль западного борта Московской синеклизы и имеют четкую стратиграфическую привязку — к верейскому горизонту. Встречены по берегам речки Ратовки в Московской области, в Тверской области (р. Осуга), по Северной Двине.

Среди щелочных изверженных горных пород изредка встречается минерал виллиомит — NaF , который сравнительно легко переходит в подземные воды и достигает в них концентраций $20\text{--}25$ мг/дм³. Пегматиты щелочных горных пород встречены на Среднем Урале и в Хибинских горах. Подземные фтороносные воды щелочных пегматитов подробно описаны С. Р. Крайновым.

Следует заметить, что фтор — пока один из немногих химических элементов, для которых установлены верхний ($1,5$ мг/дм³) и нижний ($0,3$ мг/дм³) пределы оптимальных концентраций в питьевых подземных водах. Это правило, в первую очередь, должно было быть установлено и для макроэлементов — кальция, магния, натрия, гидрокарбонатов,

составляющих основную минеральную нагрузку питьевых вод.

Стронциевые подземные воды с содержанием Sr^{+2} более 7 мг/дм^3 (ПДК_в) распространены в зоне развития питьевых подземных вод достаточно широко и приурочены к горным породам, обогащенным этим элементом (стронциевым геохимическим провинциям).

Широко известной и наиболее изученной региональной геохимической стронциеносной провинцией в пределах России являются слои карбонатных и сульфатных горных пород от верхне-девонского до пермского возраста, протягивающиеся вдоль южного, западного и северо-западного бортов Московской и северной части Северо-Двинской синеклиз.

Подземные пресные воды этих районов содержат стабильный стронций в количестве от единиц до $30\text{--}40 \text{ мг/дм}^3$. Колебания концентраций стронция в пределах математического порядка связаны с различной обогащенностью пород этим элементом и интенсивностью водообмена. Наиболее изучены в гидрогеохимическом отношении 3 района — Табольшое месторождение стронция в Тульской области, область развития нижнекаменноугольных отложений Смоленской области, территория вблизи г. Архангельска, в Егорьевском районе Московской области.

Опробование подземных питьевых вод в карбонатных породах южной части Тульской области на значительном удалении от Табольшого месторождения показало стабильные высокие концентрации стронция, превышающие ПДК_в в 2–3 раза.

Исходя из общих гидрогеохимических закономерностей, концентрации стронция в подземных питьевых водах мало зависят от величин pH и Eh и определяются интенсивностью водообмена и, главное, содержанием стронция в водоносных породах.

На территории Российской Федерации геохимические провинции стронция известны также в гипс-ангидритовых и карбонатных толщах пермских отложений Заволжья, среди редких проявлений карбонатитов севера и юга Красноярского края, Читинской и других областей на востоке страны.

Следует отметить, что концентрация стронция в питьевых водах лимитируется лишь в немногих странах мира, хотя элемент относится ко 2-му классу опасности из 4-х классов, принятых в нашей стране.

Бороносные подземные питьевые воды содержат В в количестве более $0,5 \text{ мг/л}$ (ПДК_н). Они ши-

роко распространены на территории развития верхнепермских, преимущественно карбонатных и сульфатных морских отложений Волго-Уральской области, где концентрация бора достигает единиц и реже первых десятков мг/л. Основной причиной формирования бороносных подземных вод является региональная обогащенность водовмещающих осадочных горных пород этим элементом. В галогенных породах распространены такие минералы как ашарит — MgHBO_3 , бура — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, гидроборацит — $\text{MgCaB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и другие бораты. Боросиликаты и бороалюмосиликаты известны среди изверженных и метаморфических пород Урала, Сибири и Дальнего Востока, где образуются рудные месторождения скарнового и вулканогенно-осадочного происхождения. Концентрация бора в подземных водах районов таких месторождений может достигать десятков мг/л в зависимости от их общей минерализации, температуры и основного химического состава, но они образуют локальные гидрогеохимические зоны в связи с высокой сорбируемостью бора глинистыми минералами. Лимитирующий признак вредности, по которому установлено ПДК_в для бора, — санитарно-токсикологический, класс опасности — 2-й.

Гидрогеохимия бора в питьевых подземных водах страны изучена в общих чертах.

Марганцевые подземные питьевые воды содержат марганец в количестве более $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Элемент имеет органолептический признак вредности и относится к 3-му классу опасности. В зависимости от Eh, pH условий марганец в подземных водах может быть 2, 3 и 4-х валентным, но наиболее распространен двухвалентный марганец, концентрация которого преобладает в подавляющем большинстве случаев (> 80%). Чем ниже величина pH, тем более высокими могут быть концентрации Mn в подземных питьевых водах.

Теоретически марганецсодержащие подземные питьевые воды характеризуются высоким содержанием органических веществ, отсутствием кислорода и сульфидов. Содержание марганца в них может достигать *n* мг/л.

Наиболее известны такие питьевые воды в пределах Западно-Сибирской равнины, в Карелии, Архангельской и других северных областях России. Геохимия марганца в подземных водах близка к гидрогеохимии железа. В международных документах нормативы приводятся совместно для железа и марганца.

Кремниевые подземные питьевые воды содержат кремний в количестве более 10 мг/дм³. Элемент относится ко 2-му классу опасности и выделяется по санитарно-токсикологическому признаку вредности. В подземных водах в зависимости от pH, Eh условий формы нахождения элемента различны. В пересчете на SiO₂ содержание кремния в питьевых водах не должно превышать 21,4 мг/дм³ при отсутствии других элементов 1-го и 2-го классов опасности.

Гидрогеохимические провинции питьевых подземных вод, обогащенных кремнием, известны в области распространения слабокислых маломинерализованных подземных вод европейского Севера, горного Алтая и в других регионах страны. Достоверность определений кремния с учетом форм его нахождения и многообразия вещественного состава, величин pH и Eh питьевых подземных вод остается слабой до настоящего времени.

Бериллий-, селеносодержащие питьевые подземные воды встречаются локально на территории Урала, Сибири и некоторых других регионов. Это связано с низкими ПДК_н элементов, соответственно 0,0002 и 0,01 мг/дм³, и отнесением их по санитарно-токсикологическому признаку вредности к высшим — 1-му и 2-му классам опасности.

Можно утверждать, что региональные достоверно установленные факты нахождения названных элементов в питьевых подземных водах ограничены. На Урале бериллийсодержащие питьевые воды приурочены к району развития соответствующего минерала в горных породах. Селен является геохимическим аналогом серы и распространен в подземных водах, содержащих сульфаты, значительно шире, чем бериллий. Но в целом изученность названных элементов остается очень слабой, и для обычных питьевых подземных вод они не характерны.

Подведем некоторые итоги формирования геохимических провинций питьевых подземных вод с наличием концентраций отдельных элементов, превышающих ПДК. Формирование питьевых подземных вод тесно связано с историей геологического развития территорий, литологией водовмещающих и смежных горных пород, условиями их залегания, динамикой, геотермией, основным вещественным составом подземных вод. Каждая ландшафтно-климатическая область характеризуется специфическим составом подземных вод, который отражает весь комплекс современных географических и древних геологических факторов. Нельзя забывать, что подземные воды, как и поверхностные всегда дви-

жутся и взаимодействуют с вмещающими их горными породами, органическими веществами, микрофлорой.

Следует отметить достаточно высокую степень условности понятий полезности-вредности нормируемых веществ. Растворенные в подземных водах вещества природного происхождения присутствуют в больших количествах по своему перечню, но в различных формах и в концентрациях, обычно изменяющихся в пределах до 2–3 математических порядков. Воздействие каждого из нормируемых веществ в своей природной совокупности практически не изучено. В случае присутствия в воде нескольких веществ, относящихся к 1-му и 2-му классам опасности, ПДКв не должна превышать 1, т. е.

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1.$$

Необходимо отметить серьезные различия основных международных и отечественных документов, определяющих требования к качеству питьевых вод, в части перечня лимитируемых показателей, оценки роли отдельных веществ и их суммарного воздействия на организм человека вне зависимости от его возраста и места проживания. Это, по-видимому, связано с недостаточной изученностью влияния реальных питьевых вод на человека.

8.6.3. Качество подземных вод

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения в первую очередь используются подземные воды напорных водоносных горизонтов, качество воды в которых по содержанию большинства нормируемых компонентов отвечает требованиям, предъявляемым к питьевым водам.

С точки зрения использования подземных вод, с учетом охарактеризованных выше геохимических провинций, для питьевого водоснабжения на территории России могут быть выделены три группы районов:

1. Районы, в гидрогеологическом разрезе которых выделяются водоносные горизонты с пресными водами, качество которых по макрокомпонентному и микрокомпонентному составу в естественных условиях полностью отвечает требованиям, установленным для питьевых вод.

2. Районы, где содержания каких-либо микрокомпонентов в пресных подземных водах отдельных водоносных горизонтов превышают установленные предельно допустимые концентрации

(ПДК). На территории России выделено несколько гидрогеохимических провинций с высокими содержаниями отдельных нормируемых микрокомпонентов в подземных водах (Крайнов, Рыженко, Швец, 2004). Для гидрогеохимических провинций характерен высокий уровень фоновых концентраций нормируемых микрокомпонентов, приближающийся или превышающий ПДК, а также высокая частота встречаемости (> 50%) концентраций этих компонентов, превышающих ПДК. Наиболее широко распространены в России гидрогеохимические провинции подземных вод с региональным повышенным содержанием таких нормируемых компонентов как железо, фтор, стабильный стронций. Меньшую площадь занимают провинции с повышенным содержанием марганца, мышьяка, бериллия (разд. 8.6.2).

Кроме уже упомянутых микрокомпонентов, на отдельных участках эксплуатации подземных вод обнаружены повышенные содержания таких компонентов, как барий, бор, литий, кадмий, ртуть, очевидно, имеющие естественное происхождение. При этом следует отметить, что ранее, до введения в действие СанПиН 2.1.4.559—96 (ныне СанПиН 2.1.4.1074—01) «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» и СанПиН 2.1.4.544—96 «Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников», содержание указанных компонентов практически не изучалось.

В связи с этим не исключено, что они имеют более широкое распространение.

Следует отметить также зафиксированную в ряде районов (Северный Кавказ, Западная Сибирь) повышенную цветность подземных вод;

3. Районы либо практического отсутствия пресных подземных вод, где распространены подземные воды повышенной минерализации, либо при минерализации, не превышающей установленные требования, подземные воды характеризуются повышенным содержанием хлоридов, сульфатов, а также повышенной общей жесткостью.

Разнообразная хозяйственная деятельность оказывает негативное влияние на качество подземных вод, вызывая их антропогенное загрязнение.

На территории России отмечены достаточно многочисленные случаи загрязнения подземных вод. Однако эти загрязнения носят в основном локальный характер. Среди загрязняющих подземные воды веществ наиболее часто встречаются нефть и

продукты ее переработки, фенолы, азотистые соединения, железо, марганец, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы.

По данным государственного учета вод, которым не охватывается весь спектр загрязнения подземных вод, на территории России выявлено более 2,5 тыс. участков техногенного загрязнения. Формирование этих участков связано, главным образом, с деятельностью промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

В большинстве случаев (более 70%) участки загрязнения выявлены в первых от поверхности водоносных горизонтах с грунтовыми водами, которые чаще всего не являются источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Наибольшую экологическую опасность представляет загрязнение подземных вод на водозаборах питьевого водоснабжения.

На территории России выявлено около 500 водозаборов подземных вод, включая рассредоточенные одиночные водозаборные скважины, в которых наблюдается постоянное или эпизодическое несоответствие качества подземных вод установленным требованиям, в том числе на 100 водозаборах с производительностью от 1 до 5 тыс. м³/сут и на 80 водозаборах — с более 5 тыс. м³/сут. Из наиболее крупных водозаборов, на которых установлено такое несоответствие, следует отметить водозаборы городов Белая Калитва, Калуга, Сызрань, Оренбург, Чапаевск, Нальчик, Чита, Комсомольск-на-Амуре, Моздок, ряд городов Московской области и др.

Следует отметить, что в указанный перечень включены и водозаборы, на которых загрязнение подземных вод наблюдалось эпизодически и лишь по отдельным скважинам. Тем не менее наличие таких признаков загрязнения необходимо учитывать при планировании мероприятий по охране подземных вод.

Случаи бактериологического загрязнения подземных вод на действующих водозаборных отмечаются достаточно редко и связаны, главным образом, либо с отсутствием первого и второго поясов зоны санитарной охраны, либо с нарушением регламента хозяйственной деятельности в этой зоне, либо на береговых водозаборах в период паводков.

Повышенное содержание в подземных водах таких компонентов как железо, марганец, либо их повышенная минерализация и общая жесткость, а также пониженное содержание фтора, в целом не является препятствием к использованию таких под-

земных вод, так как с применением хорошо разработанных методов водоподготовки (обезжелезивание, фторирование, опреснение и др.) качество воды может быть доведено до требуемых кондиций. Об этом свидетельствует опыт эксплуатации подземных вод на отдельных месторождениях и водозаборах с неутвержденными запасами, где осуществляется соответствующая водоподготовка.

В настоящее время такая водоподготовка проводится примерно только на 40% эксплуатируемых месторождений, где отмечается несоответствие качества нормативным требованиям, несмотря на то, что при экспертизе эксплуатационных запасов проведение водоподготовки устанавливалось как необходимое условие использования подземных вод.

Значительно более серьезными являются повышенные содержания таких компонентов, как литий, бор, барий, а также случаи техногенных загрязнений подземных вод. Для этих месторождений должны быть разработаны специальные методы очистки воды и другие мероприятия по защите подземных вод, а также режим эксплуатации, предусматривающий смешение подземных вод с повышенным содержанием нормируемых компонентов с подземными водами других горизонтов или поверхностными водами.

Главным достоинством подземных вод как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения населения является их более высокая степень защищенности от поверхностного загрязнения по сравнению с поверхностными водами. Однако, по условиям защищенности подземных вод различные типы месторождений существенно отличаются. В процессе работы по оценке обеспеченности населения ресурсами подземных вод была проведена экспертная оценка условий их защищенности с выделением трех групп:

а) надежно защищенные (напорные водоносные горизонты, перекрытые выдержанными слабопроницаемыми отложениями, на участках, расположенных вне селитебной застройки и промзон);

б) защищенные (напорные горизонты в пределах указанных выше зон и безнапорные горизонты при мощности зоны аэрации более 8–10 м и наличии в ее составе слабопроницаемых прослоев мощностью не менее 3 м);

в) практически незащищенные (безнапорные горизонты с небольшой мощностью зоны аэрации, а также водоносные горизонты, эксплуатируемые инфильтрационными водозаборами при не-

посредственной взаимосвязи поверхностных и подземных вод).

Как показали результаты проведенных работ, наибольшее количество составляют защищенные месторождения (около 40%). Практически незащищенные месторождения занимают второе место (около 37%), причем в ряде регионов (Мурманская, Ленинградская, Ивановская, Воронежская, Ивановская, Липецкая, Белгородская, Волгоградская, Самарская, Ростовская, Оренбургская, Свердловская области, республики Башкортостан, Бурятия, Хакассия, Приморский край) они выходят на первое место.

Вместе с тем необходимо отметить, что даже на практически не защищенных от загрязнения месторождениях, защищенность подземных вод значительно выше, чем защищенность поверхностных водоисточников, что существенно повышает эффективность их использования, особенно в чрезвычайных ситуациях.

Надежно защищенные подземные воды составляют около 23%, что представляет собой достаточно большую составляющую в общей площади распространения продуктивных водоносных горизонтов.

Условия защищенности подземных вод от загрязнения отражены на соответствующих картах современного состояния подземных вод и условий их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения, составленных как по территориям отдельных объектов Российской Федерации, так и России в целом (см. рис. в разд. 10.2).

8.7. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Во второй половине 1990-х гг. геологической службой МПР России под научно-методическим руководством компании «ГИДЭК» для всей территории страны была выполнена оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Оценка проводилась по специально разработанной «ГИДЭК» методике (Боревский, Язвин, 1995), базирующейся на учете только возобновляемых естественных и привлекаемых ресурсов, без при-

влечения емкостных запасов. Основные положения указанной методики сводятся к следующему:

1. Основой оценки прогнозных ресурсов подземных вод больших территорий обязательно является ее предварительное гидрогеологическое районирование, отражающее в той или иной форме особенности формирования подземных вод.

В данном случае выбор был не слишком велик:

- гидрогеологическое районирование, основанное на геолого-структурном подходе;
- гидрографическое районирование с учетом водосборных площадей речных бассейнов разного порядка.

Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки. В первом случае учитываются в полной мере количество и качество воды в определенном геологическом субстрате, позволяющие установить основные особенности формирования, накопления и движения подземных вод. Во втором — более полно можно учесть формирование естественных ресурсов в данном водосборном бассейне.

Анализируя материалы разд. 8.5 и 8.6, можно видеть, что модули подземного стока и качество подземных вод могут существенно меняться в пределах одних и тех же водосборных речных бассейнов разных порядков. Поэтому за основу был принят геолого-структурный принцип гидрогеологического районирования.

В соответствии с этим принципом выделение гидрогеологических структур (районов) учитывает их структурно-тектонические особенности, строение геологического разреза, условия питания, движения и разгрузки подземных вод, формирование и изменение их химического состава в естественных и техногенных условиях. При этом важно, что так же, как и для речных бассейнов, в пределах гидрогеологических структур I порядка могут быть выделены более мелкие иерархические структуры II, III, IV и более высоких порядков.

Подчеркнем, что для гидрогеологических структур более высоких порядков сильнее просматривается их связь с речными бассейнами, вплоть до того, что для достаточно высоких рангов районирования гидрогеологические структуры могут соответствовать малым речным бассейнам.

Поэтому гидрогеологическое районирование регионов проводится по системе соподчиненных таксономических единиц регионального районирования в зависимости от однородности или неоднородности строения гидрогеологической структуры I порядка.

В зависимости от геолого-структурных и гидрогеологических особенностей отдельных регионов выделяются:

- гидрогеологические регионы платформ и плит (платформенные области);
- гидрогеологические регионы складчатых систем (складчатые области).

В пределах платформ и плит такие регионы выделяются, исходя из эпохи консолидации складчатого фундамента, геологического возраста структурно-формационного комплекса пород осадочного чехла, характера и интенсивности проявления новейших тектонических движений. Они характеризуются преимущественным развитием артезианских бассейнов в пределах собственно плит и гидрогеологических массивов на щитах.

В складчатых системах выделяемые регионы представляют собой сочетание гидрогеологических структур, объединенных возрастом основной эпохи их складчатости, направленностью и интенсивностью неотектонических движений.

В зависимости от структурно-тектонического строения и гидрогеологических особенностей формирования подземных вод, гидрогеологические структуры различного порядка разделяются на следующие типы:

- артезианские бассейны платформ и плит;
- предгорные артезианские бассейны;
- межгорные артезианские бассейны;
- гидрогеологические складчатые области;
- гидрогеологические массивы.

Не останавливаясь здесь более подробно на принципах иерархического выделения структур более высоких порядков, отметим, что чем мельче масштаб картирования, тем более крупные таксоны принимаются в его обоснование. Например, для карты прогнозных ресурсов России масштаба 1 : 2 500 000 рассматривались структуры I и II порядка, а для карт субъектов федерации масштаба 1 : 500 000 — структуры III и IV порядка, там, где гидрогеологические условия требовали выделения таких структур в пределах структур II порядка.

Важно отметить, что по результирующей карте модулей прогнозных ресурсов, построенной по геолого-структурному принципу, легко дать оценку их величины и для любых речных бассейнов, природно-географических зон административных областей и районов в зависимости от масштаба исходящей карты.

2. Оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов в соответствии с разработанной методикой вы-

полнялась по территориям отдельных субъектов РФ на основе карты гидрогеологического районирования РФ, разработанной ВСЕГИНГЕО и Геоцентром «Геомониторинг» в 2001 г. и используемой при ведении государственного учета подземных вод, в следующем порядке:

а) в пределах каждого субъекта РФ в качестве наиболее крупной единицы принималась гидрогеологическая структура (бассейн подземных вод) II порядка или его часть, попадающая в пределы территории данного субъекта по схеме гидрогеологического районирования территории РФ, приведенной выше.

Далее в каждом бассейне подземных вод проводилось выделение основных, подлежащих оценке, водоносных горизонтов (комплексов). При этом в первую очередь выделялись водоносные горизонты, содержащие пресные подземные воды с минерализацией до 1 г/дм³, являющиеся основным, а во многих регионах — единственным объектом оценки. В районах, где отсутствуют пресные подземные воды или отмечается дефицит их ресурсов, оценка проводилась также для подземных вод с минерализацией до 3 г/дм³, а при отсутствии таких вод — с минерализацией от 3 до 10 г/дм³;

б) после определения основных водоносных горизонтов осуществлялось специальное гидрогеологическое районирование с выделением групп районов, отличающихся гидрогеологическими условиями формирования прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод, а следовательно, и методикой оценки прогнозных ресурсов;

в) в пределах каждого выделенного района устанавливались площади, где эксплуатация подземных вод в связи с различными ограничениями нецелесообразна или невозможна (весьма низкая водопроницаемость водовмещающих пород; отсутствие подземных вод с учитываемой минерализацией; практическое отсутствие питания подземных вод; площади заповедников; территории разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых; площади, где эксплуатация подземных вод невозможна по орогидрографическим условиям, в том числе озера, водохранилища и т. д.);

г) для остальной территории проводилась оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод, которая осуществлялась путем определения площадного и (или) линейного модуля прогнозных эксплуатационных ресурсов.

Площадной модуль прогнозных ресурсов представляет собой расход подземных вод в л/с, который

может быть получен из оцениваемых водоносных горизонтов водозаборными сооружениями, в том числе — каптажами родников, с 1 км² оцениваемой площади.

Линейный модуль прогнозных ресурсов представляет собой расход водозабора в л/с, который может быть получен с 1 км длины линейного берегового (инфильтрационного) водозабора.

При известных значениях площадного модуля прогнозных ресурсов на оцениваемой площади рассчитываются как произведение модуля на соответствующую площадь, а при известном значении линейного модуля прогнозных ресурсов, представляющие собой возможный дебит береговых водозаборов, определяются как произведение линейного модуля на длину оцениваемого участка.

3. В общем случае площадной модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов рассчитывается по формулам:

а) для безнапорных водоносных горизонтов

$$M_3 = \alpha_1 M_{\text{пит}} \quad (8.2)$$

где M_3 — площадной модуль прогнозных ресурсов; $M_{\text{пит}}$ — модуль инфильтрационного питания подземных вод; α_1 — коэффициент использования питания подземных вод;

б) для напорных водоносных горизонтов:

$$M_3 = \alpha_2 M_{\text{пер}} \quad (8.3)$$

При условии

$$\alpha_2 M_{\text{пер}} \leq M_{\text{пит}} \quad (8.4)$$

где $M_{\text{пер}}$ — модуль максимально возможного перетока подземных вод через слабопроницаемые отложения из вышележащего грунтового водоносного горизонта; α_2 — коэффициент, определяющий долю от максимальной величины перетока, которая может быть привлечена к водозаборным сооружениям.

В горных районах, где эксплуатация подземных вод возможна только путем каптажа родников, прогнозных ресурсов определялись по величине межennaleго родникового стока года 95% обеспеченности, при этом, в основном, учитывались только те родники, которые могут быть использованы для водоснабжения.

4. Для тех водоносных горизонтов, где эксплуатация подземных вод осуществляется водозаборными скважинами, т. е. на большей части оцениваемой площади, подсчет прогнозных эксплуатационных ресурсов проводился применительно к

выбранной системе размещения водозаборных сооружений (т. е. к выбранному шагу сетки размещения водозаборов). Шаг сетки принимался с учетом плотности расположения основных рассредоточенных потребителей.

5. Определенные сложности при оценке прогнозных ресурсов подземных вод были связаны с установлением величины модуля их питания. В настоящее время модуль питания (естественных ресурсов) подземных вод, как правило, отождествляется с модулем подземного стока в реки (разд. 8.2). Это во многих случаях существенно занижает величину питания подземных вод, так как их разгрузка в речную сеть представляет собой только один из элементов расходования подземных вод, и в ней не находят отражения разгрузка путем испарения и транспирации растениями с уровня подземных вод, родниковый сток, разгрузка в моря, болота, озера, мочажины и т. п. Особенно значительное занижение получается при использовании модуля подземного питания рек в меженный период года 95% обеспеченности. В связи с этим при оценке прогнозных ресурсов для определения модуля питания по возможности использовались различные методы, рассмотренные в разд. 8.2 и включающие в себя:

- оценка питания по величине среднегодового многолетнего (или меженного года 95% обеспеченности) модуля подземного стока в реки;

- оценка питания по коэффициенту инфильтрации атмосферных осадков с использованием данных специальных балансовых работ и литературных данных;

- оценка интенсивности питания по данным наблюдений за режимом подземных вод;

- оценку питания при решении обратных задач методом математического моделирования;

- оценка питания по расходу подземного потока, рассчитанного по формуле Дарси;

- оценка модуля питания по данным эксплуатации водозаборов подземных вод.

Несмотря на определенные недостатки, присущие каждому из перечисленных методов, учитывая региональный характер работы и то, что оценка прогнозных ресурсов подземных вод должна была проводиться на базе имеющихся материалов, использование указанных методов позволило в целом оценить питание подземных вод с достоверностью, достаточной для расчета их прогнозных ресурсов. При этом, как правило, принятые значения модуля питания являются несколько заниженными (особенно при определении питания по подземному стоку в реки

и по расчетам расхода подземного потока), что в целом оправдано в связи с весьма незначительными по сравнению с прогнозными ресурсами водоотбора подземных вод и величиной ЭЗПВ.

6. Входящий в формулу (8.2) коэффициент α_1 показывает, какую часть питания подземных вод можно привлечь к водозаборным сооружениям при эксплуатации безнапорных водоносных горизонтов. Этот коэффициент зависит от фильтрационных параметров пласта, его мощности, допустимого понижения уровня и расстояния между водозаборными сооружениями:

$$\alpha_1 = \frac{f(k_m S; R_k)}{W}, \quad (8.5)$$

где k_m — водопроницаемость оцениваемого водоносного горизонта, м²/сут; S — допустимое понижение уровня, м; W — интенсивность питания подземных вод, м/сут; R_k — радиус круга, площадь которого равна площади блока, образованного линиями, проходящими через середины расстояния между соседними расчетными водозаборами, м. R_k характеризует шаг сетки размещения расчетных водозаборов.

При размещении водозаборов по равномерной сетке:

$$R_k = 0,565l, \quad (8.6)$$

где l — расстояние между соседними водозаборными сооружениями, м.

7. Входящий в формулу (8.3) коэффициент α_2 зависит от параметра перетекания и расстояния между водозаборными сооружениями:

$$\alpha_2 = f(B, R_k),$$

где B — параметр перетекания, м,

$$B = \sqrt{\frac{k_m m_0}{k_0}}, \quad (8.7)$$

где m_0 и k_0 — соответственно мощность и коэффициент фильтрации слабопроницаемого слоя, м и м/сут.

Значения коэффициентов α_1 и α_2 при широком диапазоне изменения гидрогеологических параметров и величины R_k , рассчитанные для укрупненного водозабора радиуса 10 м, приведены в методических рекомендациях по выполнению данной работы (Боревский, Язвин, 1995).

Максимальная величина этих коэффициентов составляет 1,0, т. е. прогнозными ресурсами безнапорного водоносного горизонта не могут превышать

их естественных ресурсов, а переток воды из безнапорного горизонта в оцениваемый напорный не может превышать предельное при данных параметрах значение перетока. При этом с учетом условия (8.4) прогнозные ресурсы напорного пласта также не могут превышать естественных ресурсов подземных вод.

8. Как уже отмечалось, в долинах рек, где возможна эксплуатация береговых водозаборов, рассчитывался линейный модуль прогнозных ресурсов. Он определялся по формуле:

$$M_{л} = \alpha_3 Q_r, \quad (8.8)$$

где $M_{л}$ — линейный модуль прогнозных ресурсов, л/с · км; Q_r — расчетный дебит галереи длиной 1 км с учетом сопротивления русловых отложений и сопротивления до реки, л/с; α_3 — коэффициент использования привлекаемых ресурсов.

$$\alpha_3 = f(\lambda, L + \Delta L), \quad (8.9)$$

где λ — расстояние между скважинами, м; L — расстояние от оцениваемого водозабора до реки, м; ΔL — сопротивление русловых отложений, м.

Полученная по формуле (8.8) величина линейного модуля не должна превышать пропускную способность русловых отложений и меженный сток реки с учетом его допустимых изменений.

9. При наличии опыта эксплуатации подземных вод для оценки площадного и линейного модулей прогнозных ресурсов использовался метод гидрогеологических аналогий.

10. Результаты оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов по территориям субъектов Российской Федерации были отражены на картах современного состояния подземных вод и условий их использования, составленных в масштабе 1 : 500 000 ... 1 : 1 000 000. На этих картах были показаны площадные и линейные модули прогнозных эксплуатационных ресурсов, а для горных районов — модули меженного стока родников, которые могут быть использованы для водоснабжения. На картах также были выделены районы, по которым прогнозные эксплуатационные ресурсы не оценивались в связи с недостаточной изученностью или невозможностью эксплуатации подземных вод.

Эти карты послужили основой для составления сводной компьютерной карты модулей прогнозных эксплуатационных ресурсов территории РФ в соответствии с принятым гидрогеологическим районированием (Язвин и др., 2003).

На их основе проводилась генерализация исходных карт применительно к масштабу 1 : 2 500 000, которая заключалась в объединении мелких контуров и уточнении границ зон с различными значениями площадных модулей прогнозных ресурсов с учетом результатов оценок по различным соседним субъектам РФ.

На карте модулей прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных питьевых вод показаны только площадные модули. В связи с мелким масштабом итоговой карты линейные модули по участкам, где возможно создание береговых водозаборов, на карте не показаны, однако прогнозные ресурсы, соответствующие дебитам береговых водозаборов, учтены в итоговых величинах ПЭРПВ.

На итоговой карте модулей прогнозных эксплуатационных ресурсов показаны модули ресурсов подземных вод, главным образом, с минерализацией до 1 г/дм³. В районах, где ресурсы таких вод отсутствуют, отображены модули прогнозных ресурсов подземных вод с минерализацией от 1 до 3 г/дм³. Районы, где отсутствуют подземные воды с минерализацией менее 3 г/дм³, отнесены к районам, где эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения невозможна. Исключение составил ряд районов юга европейской части России, где показаны модули прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод с минерализацией от 3 до 10 г/дм³.

Значительную площадь на территории России занимают районы, характеризующиеся практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород. В этих районах практическое значение для водоснабжения населения могут иметь только подземные воды сквозных и подрусловых таликовых зон, особенно в долинах крупных рек, где подземные воды гидравлически связаны с поверхностными. Указанные таликовые зоны имеют точечный характер. Поэтому при оценке прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод в районах практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород принималось, что модули ПЭРПВ уменьшаются пропорционально предполагаемой площади развития таликовых зон, равной 5% и 1%, в зависимости от отрицательной температуры пород.

В то же время и в этих районах могут быть выявлены крупные месторождения подземных вод (например, Талнахское и Ергалахское месторождения в Норильском промышленном районе). В отдельных районах с практически сплошным разви-

тием многолетнемерзлых пород, где гидрогеологическая изученность позволила выделить большое количество таликовых зон, проводилась оценка прогнозных ресурсов подземных вод в этих зонах, и их суммарная величина использовалась для расчета среднего модуля ПЭРПВ, который и показывался на карте модулей как средняя характеристика для всего района.

11. Так как первоначальные результаты оценки прогнозных ресурсов подземных вод были получены по территориям субъектов Российской Федерации, то для определения прогнозных ресурсов по гидрогеологическим регионам использовались два способа.:

1. Оценка прогнозных ресурсов по карте модулей прогнозных ресурсов.

2. Оценка прогнозных ресурсов путем суммирования результатов с учетом корректировки этих результатов, проведенной ГИДЭК при их обобщении.

Так как оценка прогнозных ресурсов по карте их модулей связана с определением средней величины модуля в пределах диапазона его изменения внутри каждой зоны, принятой для картирования (что приводит к определенной условности в подсчитанных величинах ресурсов), в итоговой таблице по ресурсам гидрогеологических регионов приведены данные, полученные вторым способом. Дальнейшая детализация выполненных региональных оценок целесообразна на базе разработки и создания математических моделей отдельных артезианских бассейнов и других гидрогеологических структур или при выделении гидрогеологических структур более высоких порядков по изложенной методике.

12. Выше изложена общая методика оценки прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала подземных вод применительно к площадной оценке относительно крупных территорий административных или гидрогеологических районов I и II порядка, а также речных бассейнов без подразделения оцененных величин по водоносным горизонтам и привязки их к отдельным потребителям.

При более детальной оценке прогнозных ресурсов отдельных артезианских бассейнов и гидрогеологических структур (в том числе III и IV и более высоких порядков) применительно к схеме размещения и потребности в воде отдельных потребителей и разделения оцененных ресурсов по отдельным продуктивным водоносным горизонтам, а также на локальных участках, перспективных для

локализации месторождений подземных вод, можно использовать те же методы и подходы, что и при оценке эксплуатационных запасов подземных вод (разд. 8.4).

Причем для артезианских бассейнов и межгорных впадин предпочтение должно отдаваться методам математического моделирования, а для гидрогеологических структур складчатых областей — балансовым методам и методам гидрогеологической аналогии.

Для оценки прогнозных ресурсов подземных вод речных долин наиболее эффективными являются гидродинамические методы в сочетании с методами гидрогеологической аналогии.

Для интенсивно эксплуатируемых и хорошо изученных бассейнов подземных вод с существенно и быстро изменяющейся водохозяйственной обстановкой целесообразно создание постоянно-действующих математических моделей, позволяющих оперативно выполнять переоценку прогнозных ресурсов подземных вод в их пределах.

8.8. ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Характеристика прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод на территории России, изложенная ниже, базируется на данных работы по их оценке, выполненной во второй половине девяностых годов геологической службой МПР России под научно-методическим руководством компании «ГИДЭК».

Результаты выполненной работы показали, что Российская Федерация обладает весьма существенными прогнозными ресурсами подземных вод, около 1100 млн м³/сут. По сравнению с ранее проведенными оценками прогнозные ресурсы увеличились почти на 240 млн м³/сут, что составляет около 30% от ранее подсчитанных ресурсов. Однако, это увеличение связано, главным образом, с увеличением оцененной площади в Западно-Сибирской артезианской платформенной области и в ряде гидрогеологических регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также с более полным учетом прогнозных ресурсов береговых водозаборов. По остальным гидрогеологическим регионам наблюдается как увеличение, так и уменьшение прогноз-

ных ресурсов подземных вод по сравнению с результатами ранее проведенных работ. Эти изменения связаны с различными факторами, действие которых и приводило к разнонаправленным изменениям прогнозных ресурсов. Увеличению способствовало, как уже упоминалось, увеличение площадей оценки прогнозных ресурсов, учет береговых водозаборов, использование более высоких модулей питания подземных вод (так как при ранее проведенных оценках во многих случаях учитывались естественные ресурсы, соответствующие подземному питанию рек межженного периода года 95% обеспеченности). С другой стороны, в связи с исключением из расчетов прогнозных ресурсов, формирующихся при сработке емкостных запасов, а также в связи с исключением площадей по гидрогеологическим ограничениям, происходило уменьшение рассчитанных ранее прогнозных ресурсов подземных вод.

Основные гидрогеологические районы, принятые в данной работе на базе гидрогеологического районирования согласно принципам, изложенным в разд. 8.7, показаны на цв. вкл., рис. 12, 13 отдельно для европейской и азиатской частей России. При этом надо иметь в виду, что в данной работе они несколько генерализованы по сравнению с картой масштаба 1 : 2 500 000.

Индекс гидрогеологических районов, используемый в районировании территории России, состоит из двух или трех цифр и букв. Первая (римская) цифра определяет тип гидрогеологического района (I — артезианский бассейн, IV — гидрогеологическая складчатая область, V — гидрогеологический массив). Вторая и третья (арабские) цифры — индекс гидрогеологической структуры первого порядка, буквы — индекс гидрогеологической структуры второго порядка.

Результаты оценок прогнозных ресурсов подземных вод по основным гидрогеологическим районам приведены в табл. 8.3, речным бассейнам — в табл. 8.4. Сведения о распределении ресурсов по федеральным округам и субъектам Российской Федерации приведены в разд. 10.6.

Значения модулей прогнозных ресурсов получены как частное от деления прогнозных ресурсов с учетом дебитов береговых водозаборов на площадь гидрогеологического региона или субъекта, и таким образом характеризуют среднюю величину модуля оцениваемой территории. Как следует из этих таблиц, средний модуль прогнозных ресурсов по территории России составляет 0,74 л/с · км². По отдельным гидрогеологическим регионам, на площади

которых была проведена оценка прогнозных ресурсов, он изменяется от 0,07 (Корякско-Анадырская складчатая область) до 5,12 л/с · км² (Сахалинская складчатая область).

Оцененные прогнозные ресурсы подземных вод, соответствующие возможной производительности береговых водозаборов, в целом для Российской Федерации незначительно превышают 10% от общей величины прогнозных ресурсов. Однако в некоторых гидрогеологических регионах эта величина существенно выше. Так, в Кавказской складчатой области возможный дебит береговых водозаборов составляет 88%, в Прикаспийском артезианском бассейне — 56%, в Камчатской гидрогеологической области — 36,5%.

При анализе общих закономерностей распространения прогнозных ресурсов подземных вод на территории Российской Федерации учитывались следующие основные положения.

В связи с тем, что в принятом подходе к оценке прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных питьевых вод в качестве источников их формирования учитывались только питание подземных вод (их естественные ресурсы) и привлекаемые ресурсы поверхностного стока, основные закономерности распространения прогнозных ресурсов будут определяться самой величиной питания подземных вод, а также наличием поверхностного стока, который может быть привлечен к водозаборным сооружениям.

Возможность использования естественных ресурсов подземных вод определяется не только и, во многих случаях, не столько их абсолютной величиной, а зависит также от ряда геологических и технических факторов. Важнейшими из этих факторов являются геологическое строение разреза и гидравлический характер водоносных горизонтов (напорный или безнапорный), водопроницаемость вмещающих пород, допустимое понижение уровня, а также принятая система размещения водозаборных сооружений. Для напорных водоносных горизонтов существенную роль играют также параметры, определяющие возможность перетекания воды из вышележащего безнапорного водоносного горизонта (коэффициент фильтрации и мощность слабопроницаемых, разделяющих водоносные горизонты отложений, а также разность уровней, под воздействием которой происходит перетекание подземных вод).

Как показывает проведенный анализ, коэффициент использования естественных ресурсов

Прогнозные ресурсы и эксплуатационные запасы подземных вод по основным гидрогеологическим структурам

№ гидрогеологической области	Индекс	Гидрогеологические структуры	Общая площадь бассейна, млн км ²	Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод, млн м ³ /сут		Средний модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов, л/с·км ²		Эксплуатационные запасы подземных вод, прошедшие государственную экспертизу (на 01.01.2006 г.), тыс. м ³ /сут	Степень изученности прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод в долях единицы
				всего	в т. ч. по береговым водозаборам	Без учета береговых водозаборов, средний	С учетом береговых водозаборов, средний		
1	Восточно-Европейская гидрогеологическая платформенная область, в т. ч.:		3,71	280,6	55,7	0,7	0,9	58 823,9	0,21
1.1	I — 1	Предкавказский артезианский бассейн	0,31	22,5	2,1	0,8	0,8	9724,0	0,43
1.2	I — 2	Донецкий артезианский бассейн	0,01	0,1		0,1	0,1	63,7	0,64
1.3	I — 3	Балтийско-Польский артезианский бассейн	0,02	2,2	0,4	1,3	1,6	526,5	0,24
1.4	I — 4	Средне-Русский артезианский бассейн	1,34	112,4	19,7	0,8	1,0	27 614,3	0,25
1.5	I — 5	Восточно-Русский артезианский бассейн	0,96	85,2	17,1	0,8	1,0	15 022,1	0,18
1.6	I — 6	Днепровско-Донецкий артезианский бассейн	0,13	7,6	1,5	0,5	0,7	2962,6	0,39
1.7	I — 7	Предуральский артезианский бассейн	0,08	7,2	0,9	0,9	1,0	1428,1	0,20
1.8	I — 8	Прикаспийский артезианский бассейн	0,14	3,4	1,9	0,1	0,3	363,2	0,11
1.9	V — 9	Балтийский гидрогеологический массив	0,34	5,8	1,2	0,2	0,2	170,1	0,03
1.10	I — 10	Тимано-Печорский артезианский бассейн	0,39	34,2	10,9	0,7	1,0	949,3	0,03
2	IV — 25	Кавказская гидрогеологическая складчатая область	0,08	8,3	7,0	0,2	1,2	3646,8	0,44
3	IV — 38	Большеуральская гидрогеологическая складчатая область	0,37	47,9	4,7	1,4	1,5	3120,0	0,07
4	I — 11	Западно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область	2,68	241,8	4,5	1,0	1,0	9266,0	0,04
5	I-(12-18, 20), V-19	Восточно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область	3,66	116,2	16,4	0,3	0,4	2405,8	0,02
6	IV-(26-29)	Верхояно-Чукотская гидрогеологическая складчатая область	2,53	68,8		0,3	0,3	809,5	0,01
7	IV-(33, 39-43)	Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область	1,32	122,8	21,3	0,9	1,1	3639,3	0,03
8	I-23, IV-(21, 22)	Корякско-Камчатско-Курильская гидрогеологическая складчатая область	0,67	29,3	12,3	0,3	0,5	682,1	0,02
9	IV — 30	Сихэто-Алинская гидрогеологическая складчатая область	0,24	6,9	1,6	0,3	0,3	607,4	0,09
10	IV — 31	Амурская гидрогеологическая складчатая область	0,24	25,7	2,0	1,1	1,2	3333,3	0,13
11	IV — 32	Амуру-Охотская гидрогеологическая складчатая область	0,38	17,0		0,5	0,5	651,9	0,04
12	IV — 24	Сахалинская гидрогеологическая складчатая область	0,08	33,0		5,0	5,0	442,8	0,01
13	IV-(34-36)	Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологическая складчатая область	0,82	98,8	18,9	1,1	1,4	4249,6	0,04
14	IV-37	Таймырская гидрогеологическая складчатая область	0,21	0,9		0,05	0,05		0,00
ВСЕГО			17,0	1098,0	144,4	0,65	0,75	91 678	0,08

подземных вод для безнапорных водоносных горизонтов (коэффициент α_1 в формуле 8.2) изменяется в весьма широких пределах в зависимости от соотношения $k_m \cdot S/W$ и принятого расстояния между водозаборными сооружениями. Понятно, что при постоянных значениях $k_m \cdot S$ и R_k (см. формулу 8.5) коэффициент использования естественных ресурсов подземных вод будет тем больше, чем меньше интенсивность питания подземных вод. Так, при $k_m \cdot S = 1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ $R_k = 3 \cdot 10^3$, α_1 при W_1 равном $2 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут}$ (что соответствует модулю питания $2,32 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$), будет составлять 0,27, при $W = 10^{-4} \text{ м/сут}$ (модуль питания — $1,16 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$) α_1 будет равен 0,45 и при $W = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м/сут}$ (модуль питания — $0,23 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$) α_1 составит 1,0.

Модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов, рассчитанный по формуле 7.9, составит в первом случае $0,63 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, во втором случае — $0,52 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, в третьем случае — $0,23 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Сопоставление приведенных цифр показывает, что при относительно больших значениях модуля питания его увеличение в 2 раза (от $1,16$ до $2,32 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$) приведет к увеличению модуля прогнозных ресурсов всего на 20%. В то же время уменьшение питания с $1,16$ до $0,23 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ (в 5 раз) приводит к уменьшению модуля прогнозных ресурсов всего в 2,3 раза.

Еще большую роль играет расстояние между водозаборами (принятый расчетный шаг сетки). Так, при величине $k_m \cdot S/W$, равной $5 \cdot 10^6 \text{ м}^2$, при расстоянии между водозаборами 3,5 км может быть получено 60% питания, а при расстоянии 5 км — всего около 30%.

Для напорных водоносных горизонтов, как уже указывалось, основную роль играет параметр перетекания и расстояние между водозаборами. В зависимости от этих величин коэффициент использования потенциального питания подземных напорных вод (α_2 в формуле 8.3) может изменяться от сотых долей до единицы. При этом под потенциальным питанием напорных вод понимается расход воды, который может поступать в оцениваемый водоносный горизонт путем перетекания, если на всей площади распространения этого горизонта достигнуто допустимое понижение. При одном и том же значении параметра перетекания $5 \cdot 10^3 \text{ м}$ коэффициент α_2 изменяется от 0,92 при расстоянии между водозаборами около 2 км до 0,27 при расстоянии около 10 км. Коэффициент использования потенциального питания при одном и том же расстоянии между водозаборами увеличивается с увеличением параметра перетекания, т. е. он больше

для водоносных горизонтов с более высокой водопроницаемостью и более высоким значением сопротивления слабopроницаемого слоя. Очевидно, что потенциальное питание напорных вод с учетом коэффициента его использования не должно превышать естественные ресурсы подземных вод, а при совместной эксплуатации грунтовых и напорных вод — той части естественных ресурсов, которая остается незадействованной при подсчете прогнозных ресурсов грунтовых вод.

Таким образом, как следует из вышеизложенного, модуль прогнозных ресурсов подземных вод зависит не только от величины питания, но и от многих других факторов. В связи с этим при одинаковом модуле питания подземных вод модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов может изменяться в очень значительных пределах. Одним из важнейших факторов при этом является принятая система размещения скважин. Так как шаг сетки соответствовал, главным образом, плотности размещения рассредоточенных водопотребителей и назначался непосредственно исполнителями работ, то в одном и том же гидрогеологическом регионе, расположенном в пределах нескольких субъектов Российской Федерации, при сравнительно близких гидрогеологических условиях были получены отличающиеся друг от друга модули прогнозных эксплуатационных ресурсов.

В гидрогеологических складчатых областях оценка прогнозных ресурсов проводилась отдельно для бассейнов трещинных, трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод горных сооружений и подземных вод предгорных, межгорных артезианских и адартезианских бассейнов. При оценке прогнозных ресурсов подземных вод горных сооружений в различных субъектах Российской Федерации принимались разные методики. В одних случаях модуль прогнозных ресурсов определялся по модулю меженного родникового стока года 95% обеспеченности, в других случаях — по величине меженного расхода родников, которые могут быть использованы для водоснабжения. Для некоторых территорий эксплуатационные ресурсы оценивались по возможному дебиту водозаборов в таликовых приречных зонах. В этих случаях рассчитывалась возможная производительность водозаборов в воднокритический период за счет сработки емкостных запасов подземных вод с последующим их восполнением за счет паводкового поверхностного стока. При мелкомасштабном картировании прогнозных ресурсов в последнем случае модуль про-

гнозных ресурсов определялся как частное от деления суммарного расхода водозаборов в таликовых зонах на всю оцениваемую площадь.

Различие в методиках оценки прогнозных ресурсов привело к получению неоднозначных результатов по отдельным складчатым областям. Однако, в связи с тем, что прогнозные ресурсы в десятки раз превышают современное использование подземных вод, уточнение приведенных оценок — задача последующих работ.

На значительной площади Российской Федерации, особенно ее азиатской части, одним из основных факторов, определяющих питание подземных вод и, следовательно, формирование эксплуатационных ресурсов, является широкое развитие многолетнемерзлых пород. В целом распространение многолетнемерзлых пород и изменение их мощности подчинено широтной зональности, которая нарушается лишь в горных районах. На общем фоне зонального развития многолетнемерзлых пород местами проявляется их азональность в мощности, сплошности распространения и температуре мерзлых пород, связанная с особенностями рельефа, геологического строения, тектоники и другими факторами.

Вблизи южной границы распространения многолетнемерзлых пород мощность мерзлой зоны в среднем не превышает 10–20 м, а в центральных и северных частях рассматриваемого азиатского региона и в отдельных северных районах европейской части, а также в горных массивах, независимо от их географического положения, достигает нескольких сотен метров.

По условиям развития многолетнемерзлых пород по площади, как известно, выделяются области сплошного, прерывистого и островного их распространения.

Под сплошным распространением многолетнемерзлых пород обычно понимается их наличие на всех элементах рельефа данного региона, если площадь развития талых пород, которые формируются в днищах речных долин, по глубоким озерам и на участках разгрузки глубоких подземных вод, составляет не более 5%.

В зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород суммарная площадь таликовых зон может достигать 50% от общей площади. В зоне островного распространения многолетнемерзлых пород общая площадь развития последних редко превышает 20–40%.

Специфические особенности формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод харак-

терны только для первой зоны — зоны сплошного развития многолетнемерзлых пород.

Как уже отмечалось, при обобщении материалов по территории РФ в целом авторы оценили в этих районах прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод по предположению, на основе геокриологической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000, на которой выделены районы, характеризующиеся различной предполагаемой суммарной площадью развития таликовых зон.

Как указывалось ранее, в общую сумму прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод включены прогнозные ресурсы, соответствующие возможным участкам береговых (инфильтрационных) водозаборов. С этой целью в долинах рек, где возможно создание таких водозаборов, определялись линейные модули прогнозных ресурсов. Значение этого модуля изменяется в достаточно широких пределах в зависимости от водопроницаемости водоносного горизонта, допустимого понижения уровня воды, сопротивления русловых отложений, расстояния от водозаборов до реки и принятого расстояния между водозаборными скважинами.

Таким образом, изложенные соображения надо учитывать при анализе полученных результатов оценки прогнозных ресурсов по России в целом и, в особенности, по отдельным гидрогеологическим районам в зоне развития многолетнемерзлых пород и пограничным субъектам федерации.

Масштаб территорий, для которых в данном разделе приводится характеристика прогнозных ресурсов подземных вод, выбран с учетом их степени изученности и освоенности. На европейской части России в пределах Восточно-Европейской гидрогеологической платформенной области описание приводится для гидрогеологических районов I и II порядков. Для остальной территории характеристика прогнозных ресурсов потенциала приводится по гидрогеологическим регионам, представляющим собой надпорядковые единицы.

В европейской части выделены Кавказская и частично Большеуральская гидрогеологические складчатые области. На азиатской части территории России выделяются две гидрогеологические платформенные области: Западно-Сибирская и Восточно-Сибирская. Также выделены гидрогеологические складчатые области: Верхояно-Чукотская, Восточно-Сибирская, Саяно-Алтайско-Енисейская, Корьяско-Камчатско-Курильская, Амурская, Амуро-Охотская, Сихотэ-Алинская, Таймырская, Сахалинская и часть Большеуральской ГСО.

Ниже приводится характеристика прогнозных ресурсов подземных вод в пределах выделенных гидрогеологических структур.

Восточно-Европейская гидрогеологическая платформенная область (1)

Восточно-Европейская гидрогеологическая область на территории России включает в себя подавляющую часть Средне-Русского, полностью Восточно-Русский, Предкавказский, Тимано-Печорский артезианские бассейны I порядка, значительные части Днепрово-Донецкого, Предуральского, Прикаспийского артезианских бассейнов и Балтийского гидрогеологического массива, отдельные районы Балтийско-Польского и Донецкого артезианских бассейнов. Общая площадь гидрогеологической области превышает 3,7 млн км². Суммарные прогнозны ресурсы составляют 280 млн м³/сут при среднем модуле прогнозных ресурсов 0,9 л/с·км².

Описание приводится для выделенных гидрогеологических районов I порядка (Предуральский, Прикаспийский, Тимано-Печерский артезианские бассейны, Балтийский гидрогеологический массив), а для наиболее изученных территорий (Предкавказский, Донецкий, Балтийско-Польский, Средне-Русский, Восточно-Русский, Днепрово-Донецкий артезианские бассейны I порядка) — для районов II порядка. В скобках после названия бассейна (массива) приводится его индекс, принятый в гидрогеологическом районировании территории России.

1. Предкавказский артезианский бассейн (I-1)

Предкавказский артезианский бассейн первого порядка включает Азово-Кубанский, Восточно-Предкавказский и Ергенинский артезианские бассейны второго порядка. Площадь Предкавказского артезианского бассейна составляет около 310 тыс. км², прогнозны ресурсы — 22,5 млн м³/сут при среднем модуле 0,8 л/с·км².

1.1. Азово-Кубанский артезианский бассейн (I-1А)

Азово-Кубанский артезианский бассейн приурочен к одноименному предгорному прогибу и западной части Ставропольского поднятия. Основные водоносные горизонты с пресными (в отдель-

ных регионах солоноватыми) водами приурочены, главным образом, к песчаным прослоям мощной песчано-глинистой толщи четвертичного и неогенового возраста. В различных частях Азово-Кубанского бассейна имеются прослои, приуроченные к водоносным горизонтам четвертичных и неогеновых отложений. В долине р. Кубань на отдельных участках самостоятельное значение имеют подземные воды аллювиальных отложений, которые представлены гравийно-галечниковыми отложениями.

Наилучшими условиями формирования прогнозных ресурсов характеризуется центральная часть бассейна, где модули прогнозных ресурсов составляют 1–2 л/с·км², превышая в некоторых районах 2 л/с·км². Для побережья Азовского моря, северо-востока и востока бассейна и района Ставропольского плато модуль прогнозных ресурсов составляет 0,1–0,5 л/с·км². Подземные воды Азово-Кубанского артезианского бассейна широко используются для водоснабжения населения, главным образом, в Краснодарском крае и республике Адыгея.

Общие прогнозны ресурсы пресных и солоноватых вод составляют 9,5 млн м³/сут, из которых порядка 1,3 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Среднее значение площадного модуля прогнозных ресурсов составляет 0,9 л/с·км².

1.2. Восточно-Предкавказский (Терско-Кумский) артезианский бассейн (I-1Б)

Этот бассейн приурочен к Предкавказскому краевому прогибу и восточной части Ставропольского плато. Как и в Азово-Кубанском артезианском бассейне, основные водоносные горизонты с пресными и солоноватыми водами представлены песчаными прослоями песчано-глинистой толщи четвертичного и неогенового возраста. В долинах рек Кума и Терек определенное значение имеют аллювиальные отложения, представленные гравийно-галечниковыми породами.

Наиболее благоприятными условиями характеризуется южная предгорная часть бассейна в пределах Ставропольского края, где формируются крупные месторождения подземных вод. Здесь значение модуля прогнозных ресурсов может превышать 2 и даже, на отдельных участках, 5 л/с·км². Неблагоприятными условиями характеризуется западная и северная часть бассейна, где модули составляют, главным образом, от 0,1 до 0,5 л/с·км², а основные водоносные горизонты часто содержат подземные воды с минерализацией от 1 до 3 г/л.

Общие прогнозные ресурсы бассейна оценены в количестве 12,2 млн м³/сут при среднем модуле 1,3 л/с · км².

1.3. Ергенинский артезианский бассейн (I-1B)

Ергенинский артезианский бассейн расположен в пределах вала Карпинского, которому в рельефе соответствует Ергенинская возвышенность и юго-западная часть Прикаспийской низменности. Основные водоносные горизонты приурочены к четвертичным и, главным образом, неогеновым песчаным отложениям. Характерной особенностью бассейна является весьма слабое развитие пресных и солоноватых (до 3 г/дм³) подземных вод. Большую часть территории занимают подземные воды с минерализацией от 3 до 10 г/дм³.

Прогнозные ресурсы пресных и солоноватых подземных вод оценены величиной 0,8 млн м³/сут. Модули прогнозных ресурсов достигают 1,0 л/с · км², в среднем составляя 0,1 л/с · км².

2. Донецкий артезианский бассейн (I-2)

На территории России расположена незначительная часть Донецкого бассейна, представляющая собой Восточно-Донецкий артезианский бассейн второго порядка (I-2А) (Ростовская часть Донецкого угольного бассейна), площадь которого составляет всего 9,1 тыс. км. Основной водоносный горизонт приурочен к каменноугольным отложениям, представленным перемежающимися песчаниками, аргиллитами, алевролитами, известняками и углями. Водоносный горизонт содержит, главным образом, солоноватые воды с минерализацией от 1 до 3 г/дм³. Оцененные прогнозные ресурсы составили 0,1 млн м³/сут при среднем модуле 0,1 л/с · км².

3. Балтийско-Польский артезианский бассейн (I-3)

В пределах территории Российской Федерации расположена весьма небольшая часть Балтийско-Польского артезианского бассейна. Это весьма ограниченный участок Прибалтийского артезианского бассейна второго порядка (I-3А) площадью всего около 1,9 тыс. км² (Псковская область) и Калининградский артезианский бассейн второго порядка (I-3Б), приуроченный к Неманскому грабену.

В пределах Калининградского артезианского бассейна основные водоносные горизонты приурочены к песчаным межморенным отложениям, трещиноватым мергелям и мелам верхнемелового возраста, а также к песчано-глинистым отложениям палеогена. Прогнозные ресурсы бассейна оценены в 1,9 млн м³/сут, из которых 0,4 млн приходится на береговые водозаборы. Модуль прогнозных ресурсов в среднем составляет 1,5 л/с · км². Прогнозные ресурсы Балтийско-Польского артезианского бассейна в целом, в пределах Российской Федерации, составляют 2,2 млн м³/сут.

4. Средне-Русский артезианский бассейн (I-4)

Средне-Русский артезианский бассейн является одним из наиболее крупных на территории Российской Федерации. Он включает Северо-Двинский, Ленинградский, Московский и Ветлужский артезианские бассейны второго порядка. Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод Средне-Русского бассейна составляют более 110 млн м³/сут, площадь бассейна — 1,3 млн км², средний модуль — 1,0 л/с · км².

4.1. Северо-Двинский артезианский бассейн (I-4А)

Северо-Двинский артезианский бассейн приурочен к Мезенской впадине. Основные водоносные горизонты залегают в пермских (алевролиты, пески, песчаники, известняки) и каменноугольных отложениях (известняки, доломиты). Подчиненное значение имеют водоносные горизонты в юрских и триасовых терригенных отложениях. На западе бассейна выделяются районы практического отсутствия пресных вод и отдельные площади, где подземные воды имеют минерализацию более 3 г/дм³.

Модули прогнозных ресурсов на большей части площади составляют от 0,1 до 0,5 л/с · км². Однако в районах распространения каменноугольных карбонатных пород они повышаются до 1–2 л/с · км², достигая на отдельных участках 5 и более л/с · км².

Прогнозные эксплуатационные ресурсы бассейна оценены в 27,4 млн м³/сут, из которых 7,1 млн м³/сут приходится на ресурсы, соответствующие возможным дебитам береговых водозаборов. Общая площадь бассейна — 470 тыс. км². Средний модуль прогнозных ресурсов составляет 0,7 л/с · км².

4.2. Ленинградский артезианский бассейн (I-4Б)

Ленинградский артезианский бассейн приурочен к северо-западному склону Восточно-Европейской платформы. Наибольшее значение в качестве основных водоносных горизонтов имеют водоносные горизонты в карбонатных и песчаных отложениях девона и карбонатных отложениях каменноугольного возраста. В отдельных районах основную роль играют водоносные горизонты в песках четвертичного возраста (межморенные водоносные горизонты) и песках и песчаниках ордовика и кембро-ордовика. На большей части бассейна подземные воды имеют минерализацию до 1 г/дм^3 , а на территории Новгородской и Псковской областей выделяют отдельные районы распространения солоноватых вод с минерализацией от 1 до 3 г/дм^3 . Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов меняются в значительных пределах, в основном от 0,1 до $2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Общая площадь бассейна — 170 тыс. км^2 , суммарные прогнозные ресурсы — $14,5 \text{ млн м}^3/\text{сут}$, средний модуль прогнозных ресурсов — $1,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

4.3. Московский артезианский бассейн (I-4В)

Московский артезианский бассейн расположен в центральной части Московской синеклизы и является самым крупным бассейном в европейской части России. Основные водоносные горизонты приурочены к известнякам и доломитам каменноугольного и девонского возраста. В северной и восточной части бассейна основным является юрско-четвертичный водоносный горизонт, представленный песками. На юге бассейна самостоятельное значение имеет неоген-четвертичный водоносный горизонт, водовмещающие породы которого также представлены песками, и меловые водоносные горизонты (пески, трещиноватые мергели и мелы). Наибольшие площади в Московском артезианском бассейне занимают территории, в пределах которых модули прогнозных ресурсов от $0,5$ до $1,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ и от 1 до $2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Однако выделяются достаточно обширные территории в центральной (Московская область) и западной (Смоленская область) части бассейна, где модули прогнозных ресурсов увеличиваются до $5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ и более. Максимальные модули характерны для каменноугольных и девонских известняков.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы питьевых подземных вод Московского бассейна соста-

вили около $58 \text{ млн м}^3/\text{сут}$, из которых $8,7 \text{ млн м}^3/\text{сут}$ приходится на береговые водозаборы. Площадь бассейна — 507 тыс. км^2 . Средний модуль прогнозных ресурсов составляет $1,3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Московский артезианский бассейн характеризуется наибольшим в России отбором и использованием подземных питьевых вод.

4.4. Ветлужский артезианский бассейн (I-4Г)

Ветлужский артезианский бассейн расположен в восточной части Московской синеклизы. Основные водоносные горизонты приурочены к песчаным толщам четвертичных (аллювиальных и межморенных), юрских, триасовых и пермских отложений. Модули прогнозных ресурсов изменяются от 0,1 до $2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, преимущественно от 0,5 до $1 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Общая площадь бассейна — 193 тыс. км^2 , прогнозные эксплуатационные ресурсы $12,7 \text{ млн м}^3/\text{сут}$, из которых $3,9 \text{ млн м}^3/\text{сут}$ приходится на береговые водозаборы. Средний модуль эксплуатационных ресурсов — $0,8 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

5. Восточно-Русский артезианский бассейн (I-5)

Восточно-Русский артезианский бассейн приурочен к Волго-Уральской системе поднятий. В современном рельефе они выражены Приволжской возвышенностью, Пермским плато, низменным и возвышенным (Общий Сырт) Сыртовым Заволжьем. Восточно-Русский бассейн включает в себя четыре артезианских бассейна второго порядка: Волго-Сурский, Приволжско-Хоперский, Сыртовский и Камско-Вятский.

Общая площадь Восточно-Русского бассейна — около 955 тыс. км^2 , прогнозные ресурсы — $85,2 \text{ млн м}^3/\text{сут}$, средний модуль прогнозных ресурсов $1,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

5.1. Волго-Сурский артезианский бассейн (I-5А)

Волго-Сурский артезианский бассейн занимает северо-западную часть Восточно-Русского бассейна и охватывает северную часть Приволжской возвышенности и часть Пермского поля. Основные водоносные горизонты приурочены к четвертичным аллювиальным (пески), неогеновым (пески), меловым (пески, трещиноватые мергели), пермским (песчаники, алевролиты, известняки) и каменноугольным отложениям. В отдельных районах (рес-

публика Мордовия, южные районы Нижегородской области) основную роль играет водоносный горизонт в карбонатных отложениях каменноугольного возраста. В пределах бассейна выделяются отдельные участки, где подземные воды с минерализацией до 3 г/л практически отсутствуют. Модули прогнозных ресурсов изменяются в значительных пределах, в основном от 0,1 до 2 л/с · км², однако в отдельных районах развития закарстованных карбонатных пород они возрастают до 5 и более л/с · км². Прогнозные ресурсы бассейна составляют 19,2 млн м³/сут, из которых 3,9 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. При площади бассейна 216 тыс. км² средний модуль прогнозных ресурсов составляет 1,0 л/с · км².

5.2. Приволжско-Хоперский артезианский бассейн (I-5Б)

Приволжско-Хоперский бассейн расположен на юго-западе Восточно-Русского бассейна, охватывая центральную часть Приволжской возвышенности. Основные водоносные горизонты приурочены к четвертично-неогеновым отложениям (пески), меловым отложениям (пески, трещиноватые мергели и мелы), карбонатным отложениям каменноугольного и девонского возраста. Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов составляют преимущественно 0,5–2 л/с · км², уменьшаясь в отдельных районах до 0,1 л/с · км² и увеличиваясь в других районах до 3–5 и более л/с · км². Площадь рассматриваемого бассейна около 233 тыс. км². Прогнозные ресурсы пресных подземных вод оценены в 23,6 млн м³/сут, из которых около 2,9 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов составляет 1,2 л/с · км².

5.3. Сыртовский артезианский бассейн (I-5В)

Сыртовский артезианский бассейн включает территорию Сыртовского Заволжья. Основные водоносные горизонты приурочены к четвертичным и неогеновым отложениям (пески), юрским и триасовым породам (пески, песчаники), пермским отложениям (песчаники, алевролиты, аргиллиты). На отдельных участках самостоятельное значение имеет водоносный горизонт в известняках и доломитах каменноугольного и пермского возраста. Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов преимущественно изменяются от 0,1 до 1 л/с · км², увеличиваясь на отдельных участках до 2 л/с · км².

Преимущественно изменяются от 0,1 до 1 л/с · км², увеличиваясь на отдельных участках до 2 л/с · км².

Площадь артезианского бассейна — около 125 тыс. км². Прогнозные ресурсы — 12,1 млн м³/сут, в том числе 4,3 млн м³/сут — ресурсы, соответствующие возможной производительности береговых водозаборов. Средний модуль прогнозных ресурсов — 1,1 л/с · км².

5.4. Камско-Вятский артезианский бассейн (I-5Г)

Камско-Вятский артезианский бассейн занимает северную часть Волго-Уральского поднятия. Основные водоносные горизонты приурочены к пермским отложениям. В разрезе пермских отложений выделяется ряд водоносных горизонтов в терригенных (песчаники, пески, алевролиты и аргиллиты) и карбонатных породах (известняки, доломиты). Большое значение в долинах рек имеют водоносные горизонты в аллювиальных отложениях, где они широко используются путем эксплуатации береговых водозаборов. Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов изменяются в достаточно широких пределах, составляя преимущественно от 0,5 до 2 л/с · км², повышаясь на отдельных участках до 5 и более л/с · км².

Площадь артезианского бассейна — 380 тыс. км². Прогнозные эксплуатационные ресурсы оценены в количестве 30,3 млн м³/сут, из которых 6 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов — 0,9 л/с · км².

6. Днепровско-Донецкий артезианский бассейн (I-6)

Российская часть Днепровско-Донецкого артезианского бассейна расположена в пределах одноименной впадины. В пределах бассейна выделяются два артезианских бассейна второго порядка: Днепровский и Донецко-Донской. Площадь Российской части Днепровско-Донецкого бассейна составляет около 130 тыс. км², прогнозные ресурсы — 7,6 млн м³/сут, средний модуль прогнозных ресурсов — 0,7 л/с · км².

6.1. Днепровский артезианский бассейн (I-6А)

Днепровский артезианский бассейн приурочен к Днепровской впадине. Основные водоносные горизонты развиты в меловых отложениях, пред-

ставленных трещиноватыми мергелями и мелями, а также песками. Модули прогнозных ресурсов меняются от 0,1 до 2 л/с · км², преимущественно составляя от 0,5 до 2 л/с · км², увеличиваясь на отдельных участках до 5 л/с · км².

Общая площадь российской части бассейна составляет 43 тыс. км². Рассчитанные прогнозные эксплуатационные ресурсы — около 4 млн м³/сут, модуль прогнозных ресурсов — 1,0 л/с · км².

6.2. Донецко-Донской артезианский бассейн (I-6Б)

Донецко-Донской артезианский бассейн приурочен к Донецко-Донской впадине. Как и в Днепровском бассейне, здесь основными водоносными горизонтами являются водоносные горизонты в меловых отложениях. На северо-востоке бассейна самостоятельное значение имеет водоносный горизонт в неоген-четвертичных отложениях. Модули эксплуатационных ресурсов меняются от 0,1 до 1,0 л/с · км².

Общая площадь российской части бассейна — 87 тыс. км². Прогнозные эксплуатационные ресурсы определены в количестве 3,7 млн м³/сут, из которых около 1,3 млн м³/сут приходятся на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов — 0,5 л/с · км².

7. Предуральский артезианский бассейн (I-7)

Предуральский артезианский бассейн расположен в пределах одноименного прогиба. В его составе выделяются два артезианских бассейна второго порядка (Северо-Предуральский I-7А и Южно-Предуральский I-7Б). Основные водоносные горизонты приурочены к пермским терригенным (пески, песчаники, алевролиты) и карбонатным отложениям. Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов составляют преимущественно 0,5–2 л/с · км², увеличиваясь в районах развития карбонатных толщ до 4–5 л/с · км². Общая площадь бассейна — 80 тыс. км², прогнозные эксплуатационные ресурсы составляют порядка 7,2 млн м³/сут при среднем модуле прогнозных ресурсов — 1,0 л/с · км².

8. Прикаспийский артезианский бассейн (I-8)

Российская часть Прикаспийского артезианского бассейна расположена в пределах одноименной

впадины. На территории России в пределах рассматриваемого бассейна выделяются два артезианских бассейна второго порядка (Северо-Каспийский I-8А и Эмбенский I-8Б). Характерной чертой бассейна является спорадическое распространение на его территории пресных и солоноватых (с минерализацией до 3 г/дм³) подземных вод.

Основные водоносные горизонты с пресными и солоноватыми водами приурочены к четвертичным и неогеновым отложениям. Модули прогнозных ресурсов изменяются от 0,1 до 1,0 л/с · км².

Большое значение в рассматриваемом регионе как поставщике ресурсов пресных подземных вод, могут иметь аллювиальные отложения в долине р. Волга, где возможно строительство береговых водозаборов.

Общая площадь российской части Прикаспийского бассейна — 137 тыс. км². Прогнозные ресурсы подземных вод составили 3,4 млн м³/сут, в том числе около 1,9 млн м³/сут — возможные дебиты береговых водозаборов при среднем модуле прогнозных ресурсов около 0,3 л/с · км².

9. Балтийский гидрогеологический массив (V-9)

Российская часть Балтийского гидрогеологического массива расположена в пределах Балтийского шита. Основные водоносные горизонты здесь приурочены к верхней трещиноватой зоне архейских и протерозойских кристаллических пород, а на отдельных участках — к четвертичным водноледниковым отложениям, представленным разнотерристыми песками. Несмотря на то что участки развития четвертичных отложений пользуются весьма небольшим распространением, в них концентрируются значительные эксплуатационные ресурсы. На ограниченных участках на юге массива самостоятельное значение имеет так называемый карельский комплекс — слабометаморфизованные осадочные и вулканогенно-осадочные песчаники и алевролиты. Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов преимущественно составляют от 0,1 до 0,5 л/с · км². В долинах рек возможно создание береговых водозаборов.

Общая площадь российской части массива составляет 336 тыс. км². Прогнозные ресурсы пресных подземных вод оценены величиной 5,8 млн м³/сут, при этом 1,2 млн м³/сут приходятся на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов — 0,2 л/с · км².

требления. Это значит, что в стране существует весьма значительный избыток ресурсов питьевых вод по сравнению с потребностью в воде.

Однако эти ресурсы распределены по территории страны крайне неравномерно. В ряде районов наблюдается существенный дефицит ресурсов подземных вод. К ним прежде всего относятся северные и северо-восточные районы развития многолетнемерзлых пород, где поиск таликовых зон, содержащих пресные воды, является самостоятельной специальной задачей, а также степные засушливые районы юга Западной Сибири, Оренбургских степей, Нижнего Поволжья, Калмыкии и т. д. Причем даже при благополучной обеспеченности субъекта Федерации в целом, отдельные его районы могут иметь избыток ресурсов подземных вод, а другие — существенный дефицит.

В связи с этим при оценке обеспеченности населения ресурсами подземных вод все субъекты федерации были разделены на три группы, различающиеся наличием административных районов той или иной категории обеспеченности:

1. Субъекты РФ, практически во всех административных районах которых потребности обеих групп водопотребителей полностью обеспечены местными прогнозными ресурсами подземных вод (районы I и II категорий обеспеченности).

2. Субъекты РФ, в пределах которых ряд административных районов является частично обеспеченным (районы III категории обеспеченности).

3. Субъекты РФ, в пределах которых ряд административных районов является недостаточно обеспеченными (районы IV категории обеспеченности). Это, как правило, районы, где отсутствуют подземные воды кондиционного качества (с минерализацией до 1,5 г/л) или наблюдается существенный дефицит величины их ресурсов (районы сплошного распространения многолетнемерзлых пород).

Отдельно была проанализирована обеспеченность потребностей наиболее крупных городов (с населением свыше 100 тыс. человек) и столиц субъектов федерации *эксплуатационными запасами подземных вод*. При этом были выделены следующие группы городов:

1. Города, потребности которых полностью обеспечены оцененными запасами подземных вод.

2. Города, существенная часть потребности которых обеспечена оцененными запасами подземных вод. Дальнейшее наращивание утвержденных запасов невозможно или нецелесообразно.

3. Города, потребности которых частично обеспечены оцененными запасами; подземными водами может быть обеспечена полная потребность.

4. Города, потребности которых частично обеспечены оцененными запасами; возможность более полного обеспечения может быть определена по результатам поисково-разведочных работ.

5. Города, не имеющие оцененных запасов подземных вод, потребности которых могут быть полностью или в значительной степени обеспечены подземными водами.

6. Города, не имеющие оцененных запасов подземных вод, для оценки возможностей удовлетворения потребностей которых необходимо проведение поисково-оценочных работ.

7. Города, в которых подземными водами могут быть обеспечены только потребности резервного водоснабжения в период чрезвычайных ситуаций. Требуется постановка поисково-разведочных работ для этих целей.

Результаты выполненных оценок приведены в разд. 10.6 на примере городов с населением более 500 тыс. человек.

Литература

- Биндеман Н. Н., Бочеввер Ф. М. Региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод // Советская геология. — 1964. — № 1. — С. 65–78.
- Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. — М.: Недра, 1970. — 214 с.
- Боревский Б. В., Дробноход Н. И., Язвин Л. С. Оценка запасов подземных вод. — Киев: Вища школа, 1989. — 407 с.
- Боревский Б. В., Закутин В. П., Плотникова Р. И. и др. Требования к оценке состава и качества подземных питьевых вод при проведении поисково-разведочных работ и их использовании // Питьевая вода. — 2005. — № 4.
- Боревский Б. В., Язвин Л. С. Методические рекомендации по перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод в слабо изученных районах. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1971.
- Боревский Б. В., Язвин Л. С. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. — М.: Роскомнедра, 1995.
- Боревский Б. В., Язвин Л. С. Стратегия развития ресурсной базы питьевых подземных вод на территории России в XXI веке // Разведка и охрана недр. — 2003. — № 10. — С. 2–10.

- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 302 с.
- Голицын М. С. Гидрогеохимические и гигиенические проблемы изучения, оценки и нормирования качества питьевых подземных вод. Материалы 7 междунар. конгресса «Вода: экология и технология». — М., 2006. — Ч. 1. — С. 172–173.
- Зекцер И. С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. — М.: Наука, 1977. — 173 с.
- Зекцер И. С. Подземные воды как компонент окружающей среды. — М.: Научный мир, 2001. — 328 с.
- Зекцер И. С., Джамалов Р. Г. Подземные воды в водном балансе крупных регионов. — М.: Наука, 1989. — 124 с.
- Зекцер И. С. и др. Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогнозы. — М.: Наука, 2007. — 438 с.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. — М.: Наука, 2004. — 677 с.
- Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. — М.: Изд-во МГУ, 1960. — 344 с.
- Никитин Д. П., Новиков Ю. В., Рошин А. В. и др. Справочник помощника санитарного врача и помощника эпидемиолога. — М.: Медицина, 1990. — 512 с.
- Пересунько Д. И., Крашин И. И., Боревский Б. В., Язвин Л. С. Методические рекомендации по перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод для хорошо изученных районов. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1972.
- Подземный сток на территории СССР. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 303 с.
- Подземный сток Центральной и Восточной Европы. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1982. — 288 с.
- Попов О. В. Подземное питание рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 291 с.
- Фиделли И. Ф. Принципы и методы региональной оценки подземного стока // Научные основы изучения и охраны подземных вод. — М.: Изд-во МГУ, 1980. — Ч. 1. — С. 14–80.
- Шестопалов В. М. и др. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: В 3 т. — Киев: Наукова Думка, 1988–1991.
- Язвин Л. С., Коноплянцев А. А. Рациональное использование подземных вод // Тр. XXVII Междунар. геол. конгр. — М.: Наука, 1984. — Т. 16: Гидрогеология. — С. 85–91.
- Vsevolozhsky V., Fidelly I. Subdivision of the area of Central and Eastern Europe for the groundwater flow map at 1: 1 500 000 scale // J. Hydrological Sciences. — 1977. — Vol. 4. — N 2.

10. Тимано-Печерский артезианский бассейн (I-10)

Тимано-Печерский артезианский бассейн первого порядка расположен в пределах Печорской плиты и складчатых сооружений Канино-Тиманского кряжа. Включает 6 артезианских бассейнов второго порядка и Канино-Тиманскую ГСО.

В пределах бассейна основные водоносные горизонты приурочены к юрским, триасовым и пермским отложениям, предстательным переслаивающимся песками, алевритами и глинами, а также к карбонатным отложениям (известняки и доломиты) пермо-карбонного и девонского возраста.

Северная часть территории бассейна характеризуется распространением многолетнемерзлых пород. В этих районах практическое значение для водоснабжения приобретают подземные воды таликовых зон. В долинах рек самостоятельное значение имеют четвертичные аллювиальные отложения, на базе подземных вод которых возможна эксплуатация береговых водозаборов.

Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов изменяются в достаточно широких пределах, от 0,1 до 2 л/с·км², увеличиваясь на отдельных участках до 5 и более л/с·км².

Площадь бассейна составляет 392 тыс. км². Прогнозные ресурсы подземных вод — 34,2 млн м³/сут, из которых около 11 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов составляет 1,0 л/с·км².

Кавказская гидрогеологическая складчатая область (2)

В пределах Кавказской гидрогеологической складчатой области развиты горно-складчатые сооружения Большого Кавказа, представляющие собой бассейны трещинных, трещинно-карстовых вод и трещинно-жильных вод зон тектонических нарушений, межгорные и предгорные зоны, в пределах которых формируются малые артезианские бассейны и системы конусов выноса, а также речные долины, подземные воды которых могут служить источником для береговых водозаборов.

В соответствии с принятой методикой оценка прогнозных ресурсов подземных вод в собственно горной зоне проведена по суммарному дебиту родников, которые могут быть использованы для водоснабжения. Такая оценка была выполнена толь-

ко для территории Дагестана, в остальных районах горной части Кавказской складчатой области ограничивались выделением зон по преимущественному дебиту родников.

Прогнозные ресурсы по площадной схеме оценены также в пределах республики Дагестан на восточном склоне Большого Кавказа и во Владикавказской долине (республика Северная Осетия — Алания). В районах, где прогнозные ресурсы оценены по площадному модулю, последний составляет 2–5 и более л/с·км².

Основные прогнозные ресурсы подземных вод в рассматриваемой гидрогеологической области составляют ресурсы, соответствующие возможным дебитам береговых водозаборов. Последние оценены для рек северного склона Большого Кавказа (Краснодарский край), а также для притоков р. Кубань (Карачаево-Черкесская республика) и р. Терек (республика Северная Осетия — Алания).

Общая площадь гидрогеологической области — 77 тыс. км². Прогнозные ресурсы оценены в количестве 8,3 млн м³/сут, из которых 7 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов составляет 1,2 л/с·км².

Большеуральская гидрогеологическая складчатая область (3)

Большеуральская гидрогеологическая складчатая область (ГСО) приурочена к Уральскому поднятию, имеющему субмеридиональное простирание, включает Северо-Уральскую (IV-38А), Южно-Уральскую (IV-38Б) и Западно-Уральскую (IV-38В) ГСО. В пределах Урала выделяют пять основных водоносных зон трещиноватых, отличающихся литологическим составом пород и степенью обводненности: в карбонатных, вулканогенно-осадочных, интрузивных, терригенных и метаморфических породах. Кроме пяти основных водоносных зон трещиноватости, на Южном Урале большое значение имеют подземные воды аллювиальных отложений долин рек. Наибольшую роль в формировании эксплуатационных ресурсов в Большеуральской гидрогеологической области играют ограниченные структуры с трещинно-карстовыми водами, которые расположены обычно в межгорных депрессиях и приурочены к меридионально вытянутым полосам известняков девонского, каменноугольного и, реже, пермского возраста. Большая часть таких структур расположена

на западном склоне Урала. Значительно меньшую роль играют трещинные воды в других зонах трещиноватости.

Модули прогнозных ресурсов изменяются в широких пределах. В рассматриваемой области выделены зоны с модулем от 0,1 до 0,5 л/с · км² (главным образом на юге и севере), от 0,5 до 1 л/с · км², 1–2 л/с · км², 2–5 л/с · км².

При общей площади области 370 тыс. км² прогнозные эксплуатационные ресурсы составили около 48 млн м³/сут, из которых около 5 млн м³/сут приносятся на береговые водозаборы.

Средний модуль прогнозных ресурсов составляет 1,4 л/с · км² (без учета береговых водозаборов) и 1,5 л/с · км² (с учетом береговых водозаборов).

Западно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область (4)

Западно-Сибирский артезианский бассейн первого порядка (I-11)

Западно-Сибирский артезианский бассейн расположен в пределах одноименной равнины. Зона сплошного развития многолетнемерзлых пород развита в северной части области, ее площадь составляет около 6% от всей суммарной площади бассейна. В пределах рассматриваемой территории выделяются два крупных артезианских бассейна второго порядка (Иртыш-Обский I-11А и Тазовско-Пуровский I-11Б), где для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения наибольший интерес представляют водоносные горизонты песчаных отложений палеогенового, неогенового и четвертичного возраста, содержащие пресные напорные воды. В то же время в южных районах (Курганская, Омская, южные части Новосибирской и Тюменской областей и некоторые другие) отмечается отсутствие подземных вод с минерализацией до 1 г/дм³.

Источником формирования эксплуатационных запасов подземных вод основных водоносных горизонтов являются, главным образом, подземные воды вышележащих горизонтов грунтовых вод, которые, в свою очередь, питаются атмосферными осадками.

Модули прогнозных ресурсов изменяются от 0,1–0,5 л/с · км² (на юге и севере бассейна), до 2–5 л/с · км² в центральной части.

Суммарные прогнозные ресурсы подземных вод, оценка которых выполнена на площади 2,6 млн км², составили около 242 млн м³/сут при средней величине модуля прогнозных эксплуатационных ресурсов около 1,1 л/с · км².

Восточно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область (5)

Восточно-Сибирская платформенная артезианская область занимает обширную территорию бассейнов рек Лены и Енисея. Большая часть ее территории относится к Средне-Сибирскому плоскогорью, на востоке располагается Центрально-Якутская, а на севере — Хатангская (Северо-Сибирская) низменности. В пределах Восточно-Сибирской области выделяются 9 крупных артезианских бассейнов I порядка: Ангаро-Ленский (I-12), Якутский (I-13), Тунгусский (I-14), Оленёкский (I-15), Котуйский (I-16), Хатангский (I-17), Нижнеоленинский (I-18), Нордвикский (I-20) и Анабарский гидрогеологический массив (V-19).

Около 70% рассматриваемой площади расположено в пределах зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В то же время, как уже отмечалось, на этой территории могут быть выделены довольно многочисленные таликовые зоны в долинах крупных рек, подземные воды которых могут служить источником, в отдельных случаях, даже крупного водоснабжения. Примером, как уже отмечалось, являются Талнахское и Ергалахское месторождения подземных вод в долинах одноименных рек. Месторождения приурочены к перуглубленным речным долинам, сложенным валунно-гравийно-галечными отложениями, подземные воды которых в период наличия подземного стока связаны с речными водами. В бессточный период формирование эксплуатационных ресурсов происходит за счет осушения водовмещающих пород, которые полностью насыщаются водой в период прохождения речного стока.

Основные водоносные горизонты с пресными и солоноватыми водами приурочены к терригенным (песчаники, алевролиты) и реже — карбонатным отложениям кембрия, ордовика, триаса и юры.

Модули прогнозных ресурсов в Ангаро-Ленском артезианском бассейне изменяются в весьма широких пределах, от 0,1–0,5 л/с · км² до 2–5 л/с · км².

Прогнозные ресурсы в этом бассейне составили около 56 млн м³/сут, из которых более 13 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Модуль прогнозных ресурсов составляет 1,3 л/с · км².

Общая площадь Якутского артезианского бассейна — около 954 тыс. км². Модули прогнозных ресурсов преимущественно изменяются от 0,1—0,5 л/с · км², хотя выделяются отдельные участки, где модули превышают 2 л/с · км². На отдельных участках оценены прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией 1—3 г/дм³. Прогнозные ресурсы Якутского бассейна оценены в количестве около 26,9 млн м³/сут, при среднем модуле прогнозных ресурсов 0,4 л/с · км².

Общая площадь Тунгусского артезианского бассейна — около 1095 тыс. км². Модули прогнозных ресурсов на оцененной территории меняются от 0,1 до 2 л/с · км². Прогнозные ресурсы бассейна составляют около 34 млн м³/сут, при среднем модуле прогнозных ресурсов 0,4 л/с · км².

Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод Восточно-Сибирской платформенной области в целом составляют около 116 млн м³/сут, из которых 16 млн м³/сут приходится на прогнозные ресурсы, соответствующие дебитам береговых водозаборов. Средний модуль эксплуатационных ресурсов — 0,4 л/с · км².

Верхояно-Чукотская гидрогеологическая складчатая область (6)

Верхояно-Чукотская складчатая гидрогеологическая область расположена в пределах северо-востока Российской Федерации, включает Верхоянский горный хребет, Колымское и Чукотское нагорья, Колымскую низменность и ряд более мелких горных и низменных районов. Она состоит из четырех гидрогеологических складчатых областей первого порядка: Верхоянской (IV-26), Горно-Якутской (IV-27), Олонской (IV-28) и Чукотско-Охотской (IV-29).

В пределах рассматриваемой территории выделяется большое количество бассейнов трещинных и трещинно-пластовых вод гидрогеологических массивов, наложенных вулканогенных супербассейнов и пластовых вод артезианских бассейнов межгорных впадин. Большая часть Верхояно-Чукотской складчатой области расположена в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород.

В Магаданской области прогнозные ресурсы оценивались по возможному дебиту водозаборов в таликовых приречных зонах, при этом рассчитывалась возможная сработка емкостных запасов подземных вод аллювиальных отложений в бессточный водокритический период с последующим их восполнением паводковым поверхностным стоком.

Модуль прогнозных ресурсов в этом случае определялся как средний для каждой гидрогеологической складчатой области путем деления суммарных дебитов водозаборов на площадь. В республике Саха (Якутия) в пределах Верхоянской и Горно-Якутской складчатых областей прогнозные ресурсы определены по суммарному родниковому стоку. В Чукотском автономном округе прогнозные ресурсы не оценивались, а приняты по результатам ранее проведенных оценок.

В целом суммарная величина прогнозных эксплуатационных ресурсов составила около 69 млн м³/сут при общей площади около 2,5 млн м³/сут. Среднее значение модуля прогнозных ресурсов — 0,3 л/с · км².

Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область (7)

Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область расположена в южной части региона и включает горные сооружения и межгорные впадины Прибайкалья, Забайкалья, Байкало-Патомского нагорья, Станового хребта и Алданского Щита. В пределах Восточно-Сибирской складчатой области выделяется шесть крупных гидрогеологических складчатых областей первого порядка (Юго-Восточно-Забайкальская — IV-33; Байкальская — IV-39; Витимо-Патомская — IV-40; Забайкальско-Станово-Нагорная — IV-41; Забайкальско-Витимо-Олекминская — IV-42; Станово-Алданская — IV-43). Каждая из этих областей включает несколько бассейнов трещинных вод и артезианских бассейнов подземных вод межгорных впадин.

Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область характеризуется достаточно сложными условиями распространения многолетнемерзлых пород. В целом, как и на всей территории азиатской части Российской Федерации, наблюдается уменьшение мощности и увеличение прерывистости мерзлых пород в направлении с севера на юг. Од-

нако мерзлые породы мощностью в несколько сотен метров приурочены также к высокогорным массивам, расположенным на юге рассматриваемой территории.

Наибольшим распространением характеризуются трещинные воды метаморфических и магматических пород палеозойского и более раннего возраста, но основные ресурсы подземных вод аккумулируются в мезозойских и кайнозойских отложениях межгорных артезианских бассейнов.

Модули прогнозных эксплуатационных ресурсов изменяются в достаточно широких пределах. Здесь выделяются зоны с модулями от 0,1 до 0,5 л/с · км²; от 0,5 до 1,0 л/с · км² и 1,0–2,0 л/с · км². На ограниченных участках модули превышают 2,0 л/с · км².

Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод на площади около 1,3 млн км² составляют около 123 млн м³/сут, из которых более 21 млн м³/сут приходится на береговые (инфильтрационные) водозаборы. Средний модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов составляет 1,1 л/с · км².

Корякско-Камчатско-Курильская гидрогеологическая складчатая область (8)

Корякско-Камчатско-Курильская складчатая область расположена на востоке азиатской части Российской Федерации, охватывает Корякское нагорье, полуостров Камчатку и Курильские острова, включает Корякско-Анадырскую (IV-21) и Камчатскую гидрогеологические складчатые области (IV-22) и Курильский артезианский бассейн первого порядка (I-23).

Большая часть Корякско-Анадырской ГСО находится в зоне сплошного распространения многолетне-немерзлых пород. Прогнозные ресурсы (преимущественно в таликовых зонах) составили 2,2 млн м³/сут, модуль прогнозных ресурсов — 0,1 л/с · км².

Эксплуатационные ресурсы подземных вод Камчатской ГСО концентрируются главным образом в артезианских бассейнах пластовых напорных вод, приуроченных к осадочным и эффузивным отложениям палеогенового, неогенового и четвертичного возраста. Подчиненное значение имеют бассейны трещинных и трещинно-жильных вод горных сооружений. Существенную роль играют воды аллювиальных отложений речных долин, на исполь-

зовании которых основано водоснабжение г. Петропавловска-на-Камчатке.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы Камчатской ГСО составили 27 млн м³/сут, из которых порядка 12 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Модуль прогнозных ресурсов (с учетом береговых водозаборов) составил 1,1 л/с · км², без учета береговых водозаборов — 0,6 л/с · км².

Курильский артезианский бассейн объединяет бассейны пластовых вод на Курильских островах. Водовмещающими являются вулканогенные, вулканогенно-осадочные и интрузивные породы палеогенового, неогенового и четвертичного возраста. Прогнозные ресурсы в пределах Курильского артезианского бассейна не оценивались.

Сихотэ-Алинская (9), Амурская (10) и Амуро-Охотская (11) гидрогеологические складчатые области

Сихотэ-Алинская (IV-30), Амурская (IV-31) и Амуро-Охотская (IV-32) гидрогеологические складчатые области расположены на юге Дальнего Востока. Они включают бассейны трещинных и трещинно-карстовых вод Малого Хингана, Буреинского, Сихотэ-Алинского и других горных сооружений, а также межгорные артезианские бассейны, из которых самым крупными являются Амуро-Зейский и Средне-Амурский.

В горных районах подземные воды приурочены к зонам выветривания, тектонических нарушений и карстообразования в интрузивных осадочных породах, возраст которых изменяется от архея до кайнозоя. В межгорных артезианских бассейнах основные водоносные горизонты заключены в четвертичных и неогеновых рыхлых отложениях.

Модули прогнозных ресурсов изменяются в достаточно широких пределах — от менее 0,1 л/с · км² в горной части до 2 и более л/с · км² в артезианских бассейнах.

Суммарная площадь Сихотэ-Алинской, Амурской и Амуро-Охотской гидрогеологических складчатых областей составляет около 866 тыс. км². Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод оцениваются величиной порядка 50 млн м³/сут при среднем значении модули прогнозных эксплуатационных ресурсов 0,7 л/с · км².

Сахалинская гидрогеологическая складчатая область (12)

Сахалинская гидрогеологическая складчатая область (IV-24) расположена в пределах острова Сахалин и включает в себя, как и другие складчатые области, бассейны трещинных вод и артезианские бассейны. Бассейны трещинных вод приурочены преимущественно к сильно расчлененным Западно-Сахалинскому, Восточно-Сахалинскому, Суканскому, Тонино-Анивскому и другим горным массивам. Сложены они метаморфизованными сильно дислоцированными породами мезозойского и палеозойского возраста, в которых подземные воды формируются в зонах выветривания, тектонических нарушений и, реже, в карстовых пустотах.

В артезианских бассейнах основные водоносные горизонты с пресными водами приурочены к рыхлым песчаным и гравийно-песчаным отложениям четвертичного, неогенового и палеогенового возраста. Модули прогнозных ресурсов подземных вод составляют преимущественно от 2 до 5 л/с·км² и от 5 до 10 л/с·км².

Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод концентрируются, главным образом, в артезианских бассейнах, площадь которых превышает 60% от общей площади Сахалинской области. Общая величина эксплуатационных ресурсов составляет 33 млн м³/сут на площади 77 тыс. км² при среднем значении модуля прогнозных эксплуатационных ресурсов 5,0 л/с·км².

Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологическая складчатая область (13)

В пределах Саяно-Алтайско-Енисейской складчатой области выделяются Центральная-Алтайская (IV-34), Саяно-Алтайская (IV-35) и Енисейская (IV-36) складчатые области первого порядка. Указанные гидрогеологические складчатые области расположены в южной части рассматриваемой ГСО и включают в себя бассейны трещинных вод горных сооружений Енисейского кряжа, Алтая, Саян, Салаира, Кузнецкого Алатау, Колывань-Томской возвышенности и многочисленные межгорные артезианские бассейны, из которых наиболее крупными являются Кузнецкий, Рыбинский, группа Тувинских и Минусинских бассейнов.

Бассейны трещинных вод, составляющих значительную часть рассматриваемой области, приурочены к площадям распространения метаморфических, осадочных и магматических пород палеозоя, протерозоя и архея. В межгорных артезианских бассейнах основные водоносные горизонты сформировались в четвертичных, мезозойских, верхне- и среднепалеозойских отложениях. Модули прогнозных ресурсов подземных вод составляют, преимущественно, от 0,5 до 1 л/с·км² и от 1 до 2 л/с·км².

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод на площади около 816 тыс. км² составили около 100 млн м³/сут, из которых 19 млн м³/сут приходится на береговые водозаборы. Средний модуль прогнозных ресурсов — около 1,4 л/с·км².

Таймырская гидрогеологическая складчатая область (14)

Таймырская гидрогеологическая складчатая область (IV-37) расположена в северной части субконтинента и сложена протерозойскими, палеозойскими, мезозойскими и четвертичными отложениями. Рассматриваемая область находится полностью в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород. Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод могут иметь практическое значение лишь в отдельных таликовых зонах.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы составили 0,9 млн м³/сут при среднем модуле 0,05 л/с·км².

Построенная карта модулей прогнозных ресурсов подземных вод позволяет дать оценку прогнозных ресурсов подземных вод не только по гидрогеологическим районам, но и по речным бассейнам путем планирования площадей с различными модулями в пределах их водосборов.

Бассейны основных рек Российской Федерации выделены Союзводпроектом для составления схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов России. Распределение эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод по основным речным бассейнам России приведено в табл. 8.4.

Анализ данных табл. 8.4 показывает, что преобладающее их количество сосредоточено в бассейнах сибирских рек Енисей, Обь (с Иртышом) и Лена. Суммарная величина прогнозных ресурсов для указанных бассейнов составляет около 600 млн м³/сут,

или 56% от общей их величины по Российской Федерации.

Среди речных бассейнов европейской части территории России наибольшая величина прогнозных ресурсов, составляющая около 140 млн м³/сут (13% от общей величины по РФ), принадлежит бассейну Волги (с Окой и Камой).

На территории прочих речных бассейнов прогнозных ресурсы составляют 12% (129 млн м³/сут).

Наибольшей изученностью характеризуются бассейны европейской части России: Терека (0,47), Дона (0,39), Кубани (0,38), Волги в целом (0,24). Изученность ресурсов бассейна Оки — 0,41.

Изученность прогнозных ресурсов подземных вод сибирских рек очень низка и составляет единицы процентов (0,03), а суммарная величина эксплуатационных запасов — менее 20% от общей их величины по РФ.

Наибольшее количество эксплуатационных запасов разведано в бассейне Волги (с Окой и Камой) — около 34 тыс. м³/сут, или 37% от суммарных запасов территории РФ.

Таблица 8.4

Прогнозные эксплуатационные ресурсы и эксплуатационные запасы подземных вод по речным бассейнам

№ п/п	Речной бассейн	Прогнозные ресурсы, млн м ³ /сут	Эксплуатационные запасы, тыс. м ³ /сут	Степень изученности прогнозных ресурсов
1	Нева	12,4	620,5	0,05
2	Днепр	14,5	3001,6	0,21
3	Дон	20,5	7902,9	0,39
4	Кубань	9,0	3410,2	0,38
5	Терек	10,9	5174,2	0,47
6	Волга (без Оки и Камы)	64,1	14 004,2	0,22
7	Ока	37,2	14 760,1	0,40
8	Кама	39,4	5101,3	0,13
9	Урал	6,7	2142,0	0,32
10	Амур	64,8	4979,7	0,08
11	Печора	47,5	893,4	0,02
12	Северная Двина	32,5	1079,9	0,03
13	Обь (без Иртыша)	188,4	8230,1	0,04
14	Иртыш	63,7	3143,0	0,05
15	Енисей	207,9	5213,5	0,03
16	Лена	149,4	1257,0	0,01
17	Прочие речные бассейны	129,1	10 765,4	0,08
	Всего	1 098	91 679,0	0,08

8.9. СОВРЕМЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В Российской Федерации подземные воды широко используются в экономике и социальной сфере, преимущественно для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ. Помимо этого отбор подземных вод производится при разработке месторождений твердых полезных ископаемых (водоотлив и дренаж).

При этом, в соответствии с требованиями Водного кодекса Российской Федерации, подземные воды в первую очередь должны использоваться для питьевого водоснабжения и только при наличии избыточных ресурсов подземных вод допускается их использование для технических нужд. Фактически имеет место совместное использование подземных вод для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения.

Следует различать общий водоотбор подземных вод и их использование, т. к. часть отбираемой воды для целей водопонижения, дренажа и т. п. не используется в хозяйственных целях.

В 2005 г. общий водоотбор из подземных водных объектов составил 30,4 млн м³/сут, в том числе 4,8 млн м³/сут — водоотлив и дренаж, осуществляемые, главным образом, на объектах разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Для сопоставления отметим, что в 1987 г. из подземных источников на территории РСФСР отбор подземных вод на хозяйственные нужды составлял 33,2 млн м³/сут («Водные ресурсы СССР», 1987).

Водоотбор производится как на разведанных месторождениях (около 50% от общего объема), так и на участках с неоцененными эксплуатационными запасами, для которых не проводилась государственная экспертиза. При этом соотношение величин водоотбора на разведанных участках (15,1 млн м³/сут) и оцененных эксплуатационных запасов (91,7 млн м³/сут) подземных вод на этих участках составляет всего 16,5%.

В системе государственного учета подземных вод (ГУВ), осуществляемого Госцентром «Геомониторинг», учет добычи и использования подземных вод ведется по гидрогеологическим районам (структурам) согласно схеме гидрогеологического районирования, приведенной в разд. 8.8, а также субъектам Федерации и федеральным округам. На уровне субъектов Федерации такой учет ведется соответствующим

Эксплуатационные запасы и отбор подземных вод по гидрогеологическим районам на 01.01.2006 г.

Гидрогеологический район	Эксплуатационные запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут		Количество месторождений (участков) подземных вод		Водоотбор, тыс. м ³ /сут		Степень освоения эксплуатационных запасов, %
	Всего	подготовленных к промышленному освоению А+В+С1	Всего	в т. ч. эксплуатирующихся	Общие	в т. ч. на участках с разв. запасами	
Предкавказский артезианский бассейн	9724,2	8632,9	270	106	2579,4	1126,7	11,6
Донецкий артезианский бассейн	63,7	63,7	9	3	199,5	22,0	34,5
Балтийско-Польский артезианский бассейн	526,5	525,5	45	32	157,5	95,2	18,1
Средне-Русский артезианский бассейн	27614,3	24956,9	1362	809	8873,2	5158,3	18,7
Восточно-Русский артезианский бассейн	15022,1	12890,5	946	452	5054,6	2008,1	13,4
Днепровско-Донецкий артезианский бассейн	2962,6	2960,6	174	85	1179,7	750,2	25,3
Предуральский артезианский бассейн	1428,1	1358,2	74	33	609,2	258,4	18,1
Прикаспийский артезианский бассейн	363,2	251,7	54	13	62,9	2,0	0,6
Балтийский гидрогеологический массив	170,1	167,3	28	15	486,1	82,1	48,3
Тимано-Печорский артезианский бассейн	949,3	779,2	70	28	260,9	91,4	9,6
Кавказская гидрогеологическая складчатая область	3646,8	3071,0	104	55	950,0	780,7	21,4
Большеуральская гидрогеологическая складчатая область	3120,4	2996,3	460	263	1985,7	977,9	31,3
Западно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область	9266,0	8334,9	734	332	2538,4	1342,2	14,5
Восточно-Сибирская гидрогеологическая платформенная область	2405,8	2208,3	133,0	52,0	421,4	210,2	8,7
Верхояно-Чукотская гидрогеологическая складчатая область	809,5	475,5	121,0	41,0	69,0	39,7	4,9
Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область	3639,3	3350,1	219,0	80,0	1206,9	495,4	13,6
Корякско-Камчатская-Курильская гидрогеологическая складчатая область	682,1	631,2	55,0	30,0	171,8	129,3	19,0
Сихэто-Алинская гидрогеологическая складчатая область	607,4	336,0	41	22	242,4	123,7	20,4
Амурская гидрогеологическая складчатая область	3333,3	2843,9	93	40	271,5	118,7	3,6
Амуру-Охотская гидрогеологическая складчатая область	651,9	591,8	43	24	345,3	154,2	23,7
Сахалинская гидрогеологическая складчатая область	442,8	364,9	115	93	165,0	103,9	23,5
Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологическая складчатая область	4249,6	3907,9	276,0	95,0	2562,1	1030,4	24,2
Нансеновская гидрогеологическая складчатая область	—	—	—	—	36,5	—	—
Всего по Российской Федерации	91679,0	81698,3	5426	2703	30429,0	15100,7	16,5

Таблица 8.6

Эксплуатационные запасы и водоотбор подземных вод по основным речным бассейнам на 01.01.2006 г.

№ п/п	Речной бассейн	Эксплуатационные запасы, тыс. м ³ /сут	Водоотбор на участках с разведанными запасами, тыс. м ³ /сут	Степень освоения эксплуатационных запасов, %
1	Нева	620,5	129,5	20,9
2	Днепр	3001,6	597,5	19,9
3	Дон	7902,9	1772,2	22,4
4	Кубань	3410,2	794,5	23,3
5	Терек	5174,2	603,4	11,7
6	Волга (без Оки и Камы)	14 004,2	1486,0	10,6
7	Ока	14 760,1	2902,7	19,7
8	Кама	5101,3	1017,2	19,9
9	Урал	2142,0	566,5	26,4
10	Амур	4979,7	525,6	10,6
11	Печора	893,4	98,8	11,1
12	Северная Двина	1079,9	17,6	1,6
13	Обь (без Иртыша)	8230,1	1166,8	14,2
14	Иртыш	3143,0	803,7	25,6
15	Енисей	5213,5	1018,9	19,5
16	Лена	1257,0	111,4	8,9
17	Прочие речные бассейны	10 765,4	1488,4	13,8
	Всего	91 679,0	15 100,7	16,5

щими центрами мониторинга по городам, районцам и административным районам.

В учетных данных приводятся разведанные запасы, прогнозные ресурсы, современный водоотбор на разведанных участках и на участках с не оцененными и не поставленными на учет запасами, величина использования подземных вод с разделением ее для целей хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения и орошения. Отдельно учитывается отбор подземных вод при водоотливе и дренаже, проводящийся без дальнейшего использования откачиваемых подземных вод.

В табл. 8.5 и 8.6 приводятся данные по России в целом и по отдельным гидрогеологическим районам I и II порядка в соответствии с принятым районированием и основным речным бассейном. Данные по федеральным округам приведены в разд. 10.6.

Как видно из прилагаемых таблиц, основной объем водоотбора осуществляется в 9 бассейнах подземных вод (в млн м³/сут): Московском (7,6), Западно-Сибирском (2,54), Саяно-Алтайском (2,54), Уральском (2,0), Волго-Сурском (1,7), Камско-Вятском (1,6), Азово-Кубанском (1,3), Восточно-Предкавказском (1,2) и Приволжско-Хоперском (1,1). Суммарный водоотбор в этих бассейнах в 2005 г. составил 21,5 млн м³/сут или около 71% от общей величины по России, в том числе на участках с разведанными запасами — 10,9 или 50,6% (табл. 8.5).

Значительным водоотбором подземных вод на участках с разведанными запасами характеризуются крупные бассейны рек Дона (без Северского Донца), Волги (без Оки, Камы, Суры), Оки, Камы, Оби (без Иртыша). В каждом из отмеченных речных бассейнов водоотбор подземных вод превышает 100 тыс. м³/сут, а суммарная его величина составляет 7,55 млн м³/сут (табл. 8.6).

Анализ материалов ГУВ показывает, что в 2005 г. из общего объема отбора подземных вод — 30,4 млн м³/сут в экономике и социальной сфере используется 24,5 млн м³/сут (в том числе 18,4 млн м³/сут — для хозяйственно-питьевого водоснабжения), потери воды при транспортировке составляют 2,0 млн м³/сут, сброс подземных вод при шахтном и карьерном водоотливе — 3,9 млн м³/сут.

Для сравнения отметим, что в 1999 г. в целом по России общая величина использования подземных вод составляла 28,1 млн м³/сут, из них для хозяйственно-питьевого водоснабжения — 21,3 млн м³/сут. Таким образом, за период 1999–2005 г. г. наблюда-

ется уменьшение использования на 3,6 млн м³/сут, в том числе на хозяйственно-питьевое водоснабжение — на 2,9 млн м³/сут. Средний ежегодный темп снижения этих показателей соответственно составляет 0,6 и 0,5 млн м³/сут.

Сокращение водоотбора и использования подземных вод обусловлено:

- отказом мелких потребителей от использования подземных вод, подаваемых от крупных централизованных водозаборов, расположенных на значительных расстояниях, что приводит к рассредоточенному водоотбору за счет строительства автономных малых водозаборов и, соответственно, к уменьшению потерь при транспортировке подземных вод от водозаборов к потребителю;

- в последние годы в ряде городов, напротив, наблюдается отказ мелких водопотребителей от собственных автономных водозаборов в связи с их неэффективностью и переход на централизованные водозаборы, расположенные в пределах городских территорий или вблизи них;

- более экономным использованием подземных вод в связи с введением платы за их добычу.

При этом последний фактор представляется наиболее значимым.

Важным показателем является соотношение использования подземных и поверхностных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. По данным 2-ТП Водхоз доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения населения оценивается в настоящее время величиной 46%, при этом для городского населения она составляет 37%, а для сельского — 83%. И хотя данные, получаемые по форме 2-ТП Водхоз, весьма и весьма приближенные, они дают общее представление о соотношении подземных и поверхностных вод в балансе водопотребления.

Если водоснабжение сельского населения почти целиком базируется на подземных водах, то города и рабочие поселки можно разделить на три группы:

1) города, водоснабжение которых базируется преимущественно на подземных водах (доля подземных вод более 90%);

2) города, обеспечиваемые преимущественно поверхностными водами (доля поверхностных вод более 90%);

3) города со смешанными источниками водоснабжения.

По данным на 2001 г., из 2959 городов и пгт 2030 городов и поселков (69%) обеспечивают свои потребности в воде питьевого качества подземными водами, 576 (19%) — преимущественно поверхностными водами, 353 города и поселка (12%) — имеют смешанные источники водоснабжения.

Распределение городов и поселков, характеризующихся различным количеством населения, по источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения в целом по России показано в табл. 8.7.

Как видно из табл. 8.7, с увеличением населения уменьшается доля городов, водоснабжение которых основано преимущественно на подземных водах. Если количество городов с этим источником водоснабжения при населении до 25 тыс. человек составляет 73%, то с населением от 25 до 100 тыс. человек — около 58%, а с населением свыше 100 тыс. человек — 30%.

Если последнюю группу городов рассмотреть более детально, то картина резко дифференцируется. При выполнении работы (Боревский, Язвин, 1995) было рассмотрено состояние хозяйственно-питьевого водоснабжения 171 города с населением более 100 тыс. человек. Как показывают приведенные данные по источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения, все крупные города России можно разделить на три примерно равные группы. В 64 городах (около 37%) хозяйственно-питьевое водоснабжение основано преимущественно на поверхностных водах, причем для многих городов этой группы поверхностные воды являются единственным источником водоснабжения. В 51 городе потребности в воде питьевого качества удовлетворяются преимущественно подземными водами. Остальные 56 городов имеют смешанные источники водоснабжения. При этом в 11 из них доля подземных вод составляет от 70 до 90%, в 7 — от 50 до 70%, в 16 — от 30 до 50% и, наконец, в 22 — от 10 до 30%.

Однако эта картина существенно меняется, если рассмотреть источники водоснабжения очень крупных городов с населением свыше 250 тыс. человек. Из 78 городов, имеющих такое население, 34 (около 44%) снабжаются преимущественно поверхностными водами. При этом в указанную группу попадают почти все (10 из 13) города с населением

Таблица 8.7

Распределение городов и поселков городского типа с различным количеством населения по структуре источников водоснабжения

Категория городов и пгт по количеству населения	Всего городов	Количество городов и пгт с преимущественно подземными источниками	%	Количество городов и пгт с преимущественно поверхност. источниками	%	Количество городов и пгт со смешанными источниками	%
до 10 тыс.	1710	1276	74,6	293	17,1	141	8,2
10–25 тыс.	617	434	70,3	107	17,3	76	12,3
25–50 тыс.	283	172	60,8	61	21,6	50	17,7
50–100 тыс.	178	97	54,5	51	28,7	30	16,9
100–250 тыс.	93	29	31,2	30	32,3	34	36,6
250–500 тыс.	41	17	41,5	15	36,6	9	22,0
более 500 тыс.	37	5	13,5	19	51,4	13	35,1
Итого по РФ	2959	2030	68,6	576	19,5	353	11,9

свыше миллиона человек, а также 9 из 24 городов с населением от 500 тыс. до 1 млн человек. Преимущественно на подземных водах основано водоснабжение 22 городов с населением свыше 250 тыс. человек, что составляет около 28%, в том числе 5 городов с населением свыше 500 тыс. человек. Остальные 22 города имеют смешанные источники водоснабжения, причем почти в половине из них доля подземных вод составляет от 10 до 30%. Эта группа включает 3 города с населением свыше 1 млн человек и 10 городов с населением от 500 тыс. до 1 млн.

Таким образом, крупные города в своем большинстве не имеют надежных защищенных источников водоснабжения из подземных вод. Поэтому актуальной задачей является изменение структуры водоснабжения крупных городов, предусматривающей увеличение в балансе водопотребления доли подземных вод, которая должна быть доведена не менее, чем до 25–30%.

8.10. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Под обеспеченностью населения ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в настоящей работе понимается возможная степень удовлетворения потребностей в воде питьевого качества ресурсами подземных вод за счет водоотбора в пределах оцениваемой территории. При оценке обеспеченности потребностей населения в воде питьевого качества разведанными запасами и прогнозными ресурсами подземных вод следует учитывать, что эта оценка должна проводиться дифференцированно для двух групп возможных водопотребителей.

Первая группа включает в себя *крупных водопотребителей* (средние и крупные города), для водоснабжения которых требуется создание достаточно мощных централизованных водозаборов или систем водозаборов, производительность которых составляет десятки-сотни тысяч кубических метров в сутки. Вторая группа представляет собой *рассредоточенных потребителей*, относительно равномерно распределенных по территории (поселки, сельские населенные пункты), с небольшими (до не-

скольких тысяч кубометров в сутки) потребностями в питьевой воде.

Если обозначить потребность первой группы водопотребителей P_1 , а второй группы — P_2 , общая потребность в питьевой воде на определенной территории (P) составит:

$$P = P_1 + P_2.$$

По соотношению потребностей в воде и эксплуатационных ресурсов (Q_3) могут быть условно выделены четыре категории районов, характеризующихся различной степенью обеспеченности ресурсами подземных вод (K_3).

I — надежно обеспеченные $K_3 = Q_3 / P > 1,5$.

II — обеспеченные $K_3 = Q_3 / P = 1-1,5$.

III — частично обеспеченные $K_3 = Q_3 / P < 1$ при $Q_3 / P_2 > 1$.

IV — недостаточно обеспеченные $K_3 = Q_3 / P_2 < 1$.

В надежно обеспеченных и обеспеченных районах ресурсами подземных вод, формирующимися на их территории, могут быть удовлетворены потребности обеих групп потребителей, при этом часть воды надежно обеспеченных районов может быть передана за их пределы. В частично обеспеченных районах возможно полное удовлетворение потребностей рассредоточенных водопотребителей, при этом крупные водопотребители являются не полностью обеспеченными. В недостаточно обеспеченных районах не может быть удовлетворена полностью потребность даже потребителей второй группы.

Оценка потребности была выполнена экспертным путем исходя из существующей в настоящее время численности населения, нормативов водопотребления на душу населения с учетом объемов существующего водопотребления и возможности ее роста не более, чем на 15–20%.

Естественно, что оценка обеспеченности населения ресурсами подземных вод должна выполняться не по гидрогеологическим, а по административным районам и крупным городам (разд. 10.6). Поэтому в данном разделе рассмотрены только общие подходы к решению этой проблемы.

Если рассматривать соотношение общей величины прогнозных ресурсов России — 1097,0 млн м³ и населения страны — около 142 млн человек, то на каждого жителя приходится 7,7 м³ питьевой воды. При норме 350 л/с на человека (в сельской местности она существенно меньше) ресурсная обеспеченность подземными водами более, чем в 20 раз превышает самые высокие нормы водопо-

Глава 9

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

9.1. ФАКТОРЫ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

9.1.1. Общие положения

Для надежной комплексной оценки водных ресурсов и водообеспеченности того или иного бассейна или региона на современный период и на перспективу, помимо данных о колебаниях речного стока, необходима количественная оценка его изменений под влиянием хозяйственной деятельности человека.

С давних времен наиболее активно и человек использует в своей деятельности сток рек, имеющий важнейшее значение для развития производительных сил и самого человеческого общества. Это обусловлено тем, что речные системы, имея огромную протяженность, охватывают практически все районы Земного шара и легко доступны для использования. Они обеспечивают человека пресной водой и одновременно частично освобождают сушу от различных загрязнений.

В течение многих сотен лет влияние деятельности человека на сток рек было очень незначительным и имело узкий, локальный характер. Замечательные свойства природных вод — их возобновление в процессе круговорота и способность к самоочищению — позволяли в течение долгого времени сохранять относительную чистоту, количество и качество пресных вод. Это порождало иллюзию неизменности и неисчерпаемости водных ресурсов, которые нередко стали рассматривать как бесплатный дар природы. В этих условиях сложи-

лись традиции беззаботного отношения к использованию водных ресурсов, концепции минимальных затрат для очистки сточных вод и для охраны водных объектов.

Положение коренным образом изменилось в последние десятилетия: во многих районах и странах мира стали все яснее обнаруживаться плоды многолетней, порой неразумной деятельности в использовании водных ресурсов и преобразования поверхности речных водосборов, где они формируются. Прежде всего это коснулось малых и средних рек; во многих густо населенных регионах их водный режим претерпел кардинальные изменения. С 1950—1960-х гг. начались и заметные антропогенные изменения стока больших речных систем, прежде всего в районах переменного и недостаточного увлажнения. Все чаще стал ощущаться дефицит водных ресурсов, особенно в маловодные годы, обострилась проблема истощения водных ресурсов на больших территориях.

К настоящему времени в наиболее обжитых районах Земного шара и нашей страны не осталось сколько-нибудь больших речных систем с режимом, не нарушенным в той или иной степени деятельностью человека.

В пределах речных водосборов, расположенных в наиболее освоенных в хозяйственном отношении регионов, на речной сток обычно влияют одновременно множество антропогенных факторов, основными из которых, с точки зрения воздействия на количественные характеристики речного стока, являются: русловое регулирование, орошаемое земледелие, переброски стока, промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водоснабжение, осушение болот и заболоченных земель, вырубки и посадка леса, агролесомелиоративные мероприя-

ния, урбанизация, обвалование и выпрямление русел, выемка грунта из них и др.

В самые последние годы интерес к оценке и прогнозу количественных изменений водных ресурсов и учету этих изменений в перспективном планировании еще более возрос в связи с реально возникшей проблемой возможных в ближайшей перспективе весьма значительных изменений глобальных климатических характеристик (температуры воздуха, осадков), особенно в высоких широтах северного полушария, обусловленных антропогенными изменениями газового состава атмосферы, и в частности ростом концентрации углекислого газа. Антропогенные изменения климатических характеристик могут быть столь значительными, что приведут к существенным нарушениям гидрологического цикла, количества водных ресурсов, их распределения во времени и по территории, экстремальных характеристик речного стока и их изменчивости, которые нельзя не учитывать при разработке долгосрочных планов комплексного использования и охраны водных ресурсов, при проектировании долговременных водохозяйственных мероприятий.

9.1.2. Классификация факторов хозяйственной деятельности

По характеру воздействия на водные ресурсы и гидрологический режим факторы хозяйственной деятельности могут быть объединены в следующие пять больших групп.

1. Факторы, непосредственно связанные с забором вод из русловой сети (озер, водохранилищ), использованием этих вод потребителями и сбросом использованных вод снова в водные объекты. К этой группе относятся водопотребление на нужды коммунального хозяйства, промышленности, теплоэнергетики, сельскохозяйственного водоснабжения; переброски части стока за пределы бассейна и т. п. Масштабы воздействия указанных факторов на гидрологические характеристики и качество вод определяются основными характеристиками водопотребления (объемом водозабора, безвозвратным водопотреблением, объемом сброса или водоотведения) по отношению к естественному стоку реки или объему озера; в зависимости от указанных соотношений эти факторы хозяйственной деятельности могут оказывать заметное влияние на малые и средние, а иногда и на большие реки, при этом

условия формирования стока на водосборе практически не изменяются. Следует отметить, что сброс, или водоотведение — очень важная характеристика для оценки загрязнения и изменения качества природных вод.

Переброски части стока за пределы бассейна — частный случай водопотребления, когда объем водозабора равен безвозвратному потреблению воды.

2. Факторы, связанные с преобразованиями в русловой сети бассейна: создание и эксплуатация водохранилищ и прудов, обвалование русел для предотвращения разливов, выпрямление русел, выемки из них грунта и т. п.

Создание огромных отдельных водохранилищ и целых каскадов может коренным образом преобразовать гидрологический режим реки, изменить качество вод и суммарные водные ресурсы бассейна. Воздействие это обычно тем больше, чем больше отношение объема водохранилищ к общему стоку реки и чем значительнее суммарная дополнительная площадь волного зеркала водохранилищ. За счет водохранилищ существенным образом преобразован гидрологический режим таких крупных рек России, как Волга, Дон, Ангара, Иртыш, верхний Енисей, Оби, Колымы и др. Создание даже большого количества прудов в районах недостаточного увлажнения обычно оказывает заметное влияние на сток малых и средних рек.

Воздействие таких факторов, как обвалование русел с целью уменьшения разливов, выпрямление их и выемки грунта носит, как правило, локальный характер и оказывает наибольшее влияние на режим отдельных участков рек и качество вод. Однако для отдельных бассейнов в аридных районах эти мероприятия в результате уменьшения непродуктивного испарения могут оказывать существенное влияние и на водный баланс речных бассейнов, и на годовой сток в замыкающих створах (например, р. Кура в зоне Кура-Араксинской низменности, Кубань в нижнем течении (Шикломанов, 1979; Шикломанов, Фатулаев, 1983; Фатулаев, 2003).

3. Факторы, связанные с преобразованием поверхности водосбора и изменяющие испарение и условия формирования стока на водосборе. К ним относятся:

— распашка земель, проведение комплекса агротехнических мероприятий, использование лугов под пастбища и т. п.; обычно они оказывают влияние на гидрологический режим малых и средних рек, минимальный и максимальный сток, внутригодовое распределение менее существенно — на го-

довой сток, особенно значительно — на сток наносов и качество природных вод;

— осушение болот и заболоченных земель; в основном влияет на количественные характеристики гидрологического режима и годовой сток малых и средних рек;

— вырубка леса и лесовосстановление (естественное и искусственное); изменяют основные компоненты водного баланса малых и средних рек, гидрологический режим, качество вод; степень воздействия зависит от типа и возраста леса и может сказываться на протяжении десятков лет после проведения мероприятий;

— урбанизация; изменяет все характеристики водного баланса и стока, подземные воды, качество вод, особенно сильно для малых рек, менее значительно — для средних. Горнорудные разработки, понижающие уровни грунтовых вод на больших территориях, влияют на все характеристики режима, испарение и суммарный годовой сток; изменяют количество и качество речного стока за счет сбросов в реки шахтных вод, а также в результате эрозии и размывов при горных выработках; особенно значительны воздействия на малые и средние реки.

4. Факторы хозяйственной деятельности, оказывающие влияние на сток как в результате водозаборов из русловой сети, так и путем преобразования поверхности водозабора (орошаемое земледелие, эксплуатация подземных вод и др.). Орошение, получившее широкое распространение в аридных и субаридных районах, может оказывать очень значительное влияние на все характеристики стока и на качество вод малых, средних и больших речных бассейнов.

Водозабор подземных вод непосредственно влияет на подземный сток в реки; изменяет испарение и условия формирования стока на водосборах при понижении уровней грунтовых вод (в районах воронок депрессий); оказывает основное влияние на сток малых и средних рек.

5. Факторы хозяйственной деятельности, влияющие на водный баланс, водные ресурсы и гидрологический режим посредством изменения общих метеорологических и климатических характеристик. Эти изменения обусловлены разными физическими процессами, существенно различны по интенсивности воздействия и площади охвата и включают в себя:

— изменения регионального климата и метеорологических условий в результате воздействия

человека на растительный покров, развитие урбанизации, сооружения водохранилищ, расширения орошаемых и осушаемых площадей; непосредственно в районах проведения указанных мероприятий происходят изменения отражательной способности (альбедо) земной поверхности, испарения и влажности почвы, аэродинамической шероховатости земной поверхности и других характеристик метеорологического режима, что приводит к преобразованию водного баланса и гидрологического режима в основном малых, иногда средних рек;

— возможные изменения глобального климата и влагооборота в результате использования в больших масштабах пресных вод; дополнительная влага, поступающая в атмосферу за счет безвозвратного водопотребления на хозяйственные нужды, способствует выпадению дополнительных осадков и формированию дополнительных водных ресурсов; этот эффект может иметь место только при рассмотрении водного баланса в пределах очень больших территорий с площадями в миллионы квадратных километров;

— влияние деятельности человека на состав атмосферы в результате повышения концентрации в атмосфере CO_2 , малых газовых составляющих (фреоны, окислы азота и др.) и атмосферного аэрозоля, обусловленного все возрастающим сжиганием топлива в мире и приводящего к повышению температуры нижнего слоя воздуха, изменению циркуляции атмосферы, осадков, испарения и водных ресурсов в региональном и глобальном масштабах.

В пределах больших речных бассейнов одновременно действуют многие из перечисленных выше видов хозяйственной деятельности, относящиеся к различным группам, которые могут оказывать различное влияние на водный режим в зависимости от естественных циклических колебаний гидрометеорологических элементов, от характера использования вод и преобразованных территорий, от местных физико-географических условий и факторов подстилающей поверхности.

9.1.3. Методология оценки и прогноза

Надежная количественная оценка и прогноз влияния хозяйственной деятельности на сток рек представляет собой очень сложную задачу, во-первых, из-за того, что на водосборах одновременно наличествует множество факторов хозяйственной деятельности, нередко изменяющих сток

в прямо противоположных направлениях; во-вторых, антропогенные изменения, имеющие, как правило, направленный характер, накладываются на естественные колебания стока, амплитуда которых обычно значительно превышает антропогенные изменения; в-третьих, далеко не всегда имеются надежные данные полного учета на водосборах непосредственных водозаборов и сбросов вод, использованных для различных хозяйственных нужд, и достаточно полные сведения, характеризующие время, масштабы и интенсивность проведения в пределах водосборов хозяйственных мероприятий.

Для количественной оценки и прогноза антропогенных изменений речного стока применяются различные расчетные методы, при этом в первую очередь рассчитываются произошедшие изменения стока, а затем прогнозируются будущие изменения, ориентируясь на планы и тенденции развития отдельных видов хозяйственной деятельности при разных климатических ситуациях. Следует отметить большую значимость первого этапа исследований — учета динамики произошедших изменений стока, крайне необходимого для восстановления естественных характеристик водных ресурсов и обоснованных прогнозов на будущее.

Методы, применяемые для исследовательских целей и в гидрологической практике для оценки и прогноза антропогенных изменений речного стока, могут быть объединены в следующие группы:

- статистические методы, основанные на исследованиях многолетних колебаний изучаемых характеристик стока совместно с динамикой развития основных видов хозяйственной деятельности в бассейнах;

- воднобалансовые методы, предусматривающие раздельный учет водозаборов и сбросов и оценки изменений элементов водного баланса на участках бассейна или русла, где непосредственно происходят эти изменения;

- методы математического моделирования, по существу представляющие собой развитие воднобалансовых методов на основе использования более сложных математических уравнений и решение их с помощью современной компьютерной техники;

- методы физического моделирования;

- методы активного эксперимента.

Кратко остановимся на основных предпосылках, общих принципах оценки, преимуществах и недостатках расчетных методов, принадлежащих к различным группам.

Статистические методы базируются, главным образом, на использовании материалов стандартных гидрометеорологических наблюдений за многолетний период, в течение которого можно выделить периоды естественного и нарушенного режима стока. Основная методика заключается в количественной оценке влияния всего комплекса факторов хозяйственной деятельности путем восстановления различными приемами естественных характеристик гидрологического режима и сравнения их с наблюдаемыми (бытовыми) характеристиками. При этом предполагается, что метеорологические факторы, определяющие естественный режим колебаний гидрологических характеристик, не претерпевают изменений под влиянием хозяйственной деятельности. Для отдельных речных бассейнов при оценке произошедших антропогенных изменений стока такое допущение вполне допустимо.

В исследованиях ГГИ для оценки изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности широко использовались самые различные статистические методы: анализ линейных трендов в многолетних колебаниях речного стока; сравнение величин стока за многолетние периоды с одинаковыми метеорологическими характеристиками, но с различными уровнями развития хозяйственной деятельности; методы гидрологической аналогии; многочисленные корреляционные зависимости стока от метеорологических характеристик; анализ зависимостей стока в зонах водосбора, где он формируется и используется на хозяйственные нужды; территориальные множественные зависимости речного стока от физико-географических, метеорологических и антропогенных факторов (Шикломанов, 1979; 1989; Методические... 1986).

Статистические методы обладают двумя существенными достоинствами. Во-первых, они дают возможность произвести оценку влияния хозяйственной деятельности на основании уже имеющихся материалов наблюдений на опорной сети, не дожидаясь накопления новых данных и без постановки сложных, дорогостоящих экспериментов и организации специальных экспедиций. Во-вторых, позволяют выделить суммарное изменение стока в целом для всего водосбора под влиянием всего комплекса факторов хозяйственной деятельности, и при наличии надежных исходных данных могут служить основой для контрольной объективной оценки произошедших изменений водных ресурсов в отдельных больших речных бассейнах и крупных регионах, где действует одновременно очень боль-

них изданиях приводится только водозабор, но нет использования воды, в других нет данных по затратам воды на испарение с водохранилищ и на рыбное хозяйство; практически нигде не приводятся сведения отдельно по водозаборам на нужды теплоэнергетики, которая является основной частью промышленного водопотребления; весьма разноречивые данные, различающиеся в отдельные годы в два раза, приводятся по сельскохозяйственному водоснабжению; при этом, как уже указывалось, в большинстве публикаций практически отсутствуют какие-либо сведения по безвозвратному водопотреблению.

Несмотря на указанные трудности, путем тщательного анализа основных публикаций по водопотреблению за различные годы, в ГГИ получены более или менее реальные данные за период с 1960 по 2005 г. по характеристикам суммарного водопотребления в России, и в том числе по всем основным водопотребителям: коммунальное хозяйство, промышленность (в том числе теплоэнергетика), орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, которые представлены на рис. 9.1.

В соответствии с приведенными данными максимальные объемы водопотребления в нашей стране имели место в период с 1975 по 1980 г., когда суммарный водозабор пресных вод составлял 115–120 км³ в год (использовалось 107–112 км³/год), в

этот период на долю промышленности (с теплоэнергетикой) приходилось примерно 57% от водозабора, на орошение — 28%, на коммунальное водопотребление — 10%, на сельхозводоснабжение — 5%. К 1990 г. суммарное водопотребление несколько уменьшилось и составило примерно 105 км³/год, что объясняется в основном уменьшением промышленного водозабора. После 1990 г. началось интенсивное уменьшение водозабора и объема использования пресных вод, обусловленное резким сокращением промышленного и сельскохозяйственного производства; суммарный водозабор в 2005 г. составил 68,9 км³, объем использования воды — 61,3 км³, т. е. объем водозабора и использования воды уменьшился по сравнению с 1990 г. почти в 1,6 раза. Весьма значительно изменилась и роль отдельных водопотребителей в общем объеме использования воды: в настоящее время на долю промышленности приходится 66%, коммунального хозяйства — 20%, орошения — 12% и сельхозводоснабжения — 2%. Следует отметить, что в последние годы, несмотря на существенный рост экономики, объемы использования воды в стране практически стабилизировались. Ниже рассматриваются более детально затраты воды различными водопотребителями в России и анализируется их динамика во времени.

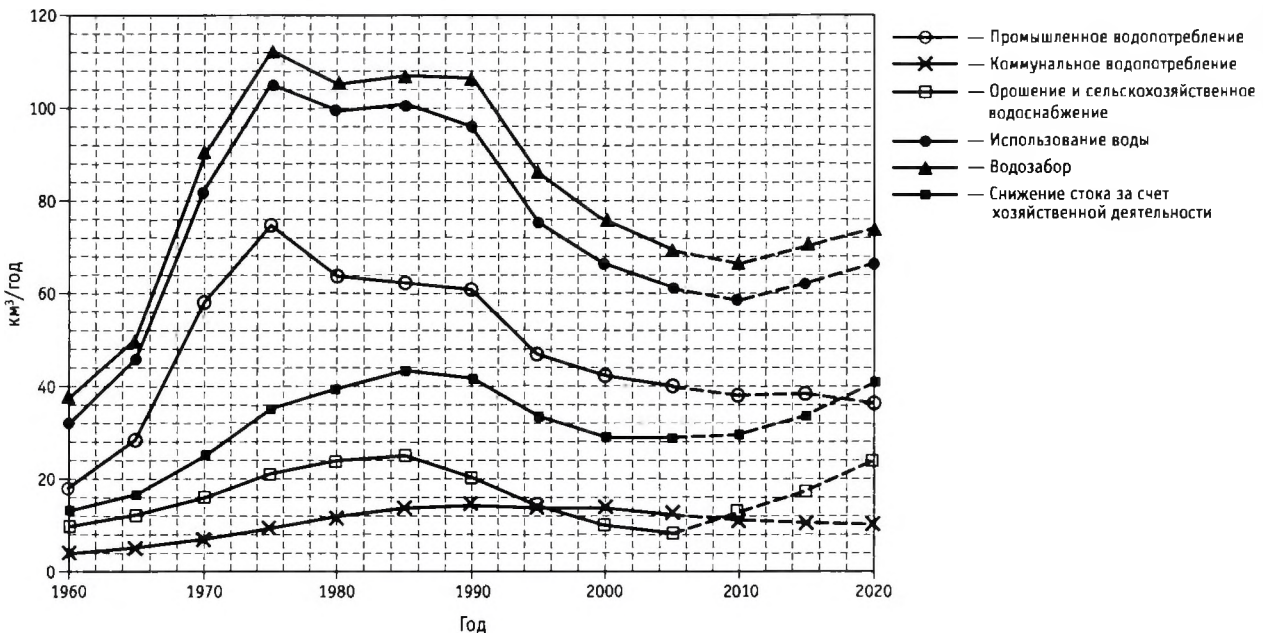


Рис. 9.1. Динамика водопотребления в России (км³/год) и снижение суммарного годового стока рек за счет комплекса антропогенных факторов (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

9.2.2. Коммунальное водопотребление

Коммунальное водопотребление состоит из двух частей и включает в себя как затраты воды непосредственно на удовлетворение нужд городского населения (хозяйственно-бытовое водопотребление), так и на общегородские нужды (общегородское и коммерческое водопотребление). Хозяйственно-бытовое водопотребление связано с использованием воды в домашнем хозяйстве на нужды питья, приготовления пищи, мытья, стирки, полива газонов, садов и огородов, принадлежащих жителям. Общегородское водопотребление включает в себя водозабор на полив улиц и зеленых насаждений, содержание пожарных команд, обеспечение водой всех учреждений города, а также промышленности, непосредственно обеспечивающей нужды городского населения и потребляющей воду высокого качества из городских водопроводов (Замахав и др., 1974; Tate, 1990).

Объем коммунального водопотребления зависит от числа городских жителей и от степени благоустройства населенных пунктов, т. е. наличия или отсутствия водопроводов, канализации, централизованного горячего водоснабжения, а также от климатических условий. Обычно считается, что для удовлетворения всех личных потребностей человека необходимо 150–250 л/сут (в том числе для питья и приготовления пищи 2,5–5 л), для работы коммунальных предприятий всей сферы обслуживания и поддержания чистоты и порядка в городе — еще 150–200 л на одного жителя. Расходование воды сверх указанных величин обычно связано с использованием ее городскими промышленными предприятиями, а также с большими потерями в системах водоснабжения. В небольших городах при отсутствии эффективных систем водоснабжения и канализации потребление воды уменьшается до 75–100 л на человека в сутки.

В различных странах мира разработаны расчетные нормы коммунального водопотребления для населенных пунктов. Обычно они зависят от степени благоустройства городов и климатических условий: для более северных стран нормы водопотребления меньше, для южных стран с жарким, сухим климатом они значительно возрастают.

В качестве примера в табл. 9.1 приведены применяемые в бывшем СССР расчетные нормы хозяйственно-питьевого водопотребления для населенных пунктов в зависимости от благоустроенности зданий и климатических условий (Зарубаев,

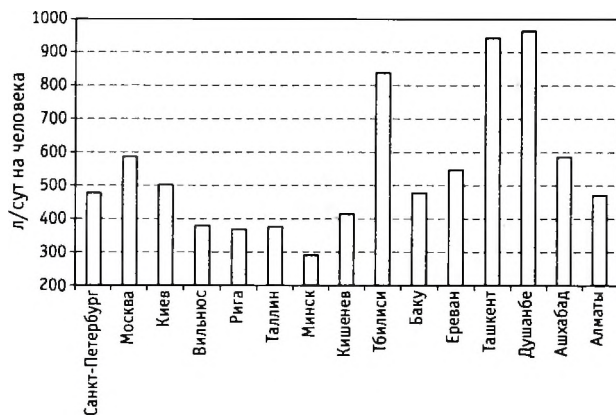


Рис. 9.2. Водопотребление в крупных городах бывшего СССР

1976), а также помещены осредненные коэффициенты, характеризующие суточную $K_{сут}$ и часовую $K_{ч}$ неравномерности коммунального водопотребления (отношение максимального в году суточного и часового водопотребления к среднему). Указанные нормы городского водопотребления в общем используются в России и в странах бывшего СССР и до настоящего времени, однако они далеко не всегда соответствуют фактическим величинам, особенно по южным городам, где могут быть завышены в полтора–два раза, о чем свидетельствуют данные, заимствованные из работы (Антропогенные воздействия... 2003), приведенные на рис. 9.2 и относящиеся к 1982 г. Городское водопотребление в объемах более 500–600 л/сут на одного жителя является свидетельством больших потерь воды в системах водоснабжения и соответствующего отношения населения к использованию воды в коммунальном хозяйстве в условиях отсутствия действительной платы за воду.

В некоторых странах мира нормы коммунального водопотребления в городах дифференцированы в зависимости от численности жителей и сферы их основной деятельности. Например, в Японии нормы водопотребления для малых городов с населением менее 10 тыс. составляют 150–300 л/сут на одного жителя и увеличиваются до 400–560 л/сут для больших городов с населением более миллиона жителей; кроме того, учитывается некоторая дифференциация объемов водопотребления (в пределах 5–10%) в зависимости от того, в каких отраслях экономики занято основное население.

Приведенным выше нормам в общем соответствуют фактические величины водопотребления во многих крупных зарубежных городах мира, где они составляют 300–600 л/сут на одного жителя (Нью-

шое число трудноопределяемых антропогенных факторов.

Вместе с тем очевидны следующие существенные недостатки статистических методов:

— ограниченность в выборе объектов обследований, которые должны иметь длительные периоды наблюдений, охватывающие различные этапы развития хозяйственной деятельности на водосборе; при использовании рядов малой продолжительности имеет место неустойчивость корреляционных связей;

— невозможность вскрыть физическую сущность процессов, происходящих на водосборе в результате хозяйственной деятельности, и оценить роль каждого фактора в отдельности;

— невозможность дать оценку влияния на сток роли факторов, когда они не получили значительного развития в бассейне и их суммарное влияние находится в пределах точности определения гидрологических характеристик в замыкающем створе;

— невозможность дать надежный прогноз антропогенных изменений стока на перспективу.

Воднобалансовые методы основаны на учете непосредственных водозаборов и сбросов и на изучении процессов, которые происходят непосредственно на участках водосборов или русла реки (на орошаемых и осушаемых землях, площадях, затопленных водохранилищами, урбанизированных территориях и т. п.), где происходят антропогенные изменения составляющих водного баланса; при этом количественно роль хозяйственной деятельности оценивается по разности элементов водного баланса рассматриваемых участков в естественных условиях и при антропогенном воздействии.

В ГГИ и в ряде других организаций России воднобалансовые методы разработаны для оценки и прогноза влияния на сток рек агротехнических мероприятий (Водогретский, 1979), строительства и эксплуатации водохранилищ и прудов (Шикломанов, Веретенникова, 1978; Бышовец, 1984), вырубок и посадок леса (Крестовский, 1986; Шикломанов, Крестовский, 1989), орошения и сельскохозяйственного водоснабжения (Харченко, 1979; Харченко и др., 1981), осушительных мелиораций (Новиков, Гончарова, 1978; 1984), промышленно-коммунального водопотребления и урбанизации (Куприянов, 1977; 1978). Эти методы широко использовались для оценки и прогноза влияния хозяйственной деятельности на годовой сток основных рек бывшего СССР (Шикломанов, 1979; 1989; Шикломанов, Георгиевский, 1990).

Воднобалансовые методы обладают следующими достоинствами. Во-первых, они рассматривают физическую суть процессов, происходящих на водосборе и позволяют при наличии соответствующих данных оценить роль каждого фактора хозяйственной деятельности в отдельности, независимо от масштабов его развития. Во-вторых, они дают принципиальную возможность прогнозировать на перспективу количественную роль влияния на сток того или иного вида хозяйственной деятельности.

Вместе с тем следует отметить недостатки воднобалансовых методов:

— необходимость иметь детальные экспериментальные данные и надежные материалы учета водопотребления и водоотведения, что требует больших средств и усилий, организации специальных экспедиций;

— низкая точность измерений и расчетов отдельных элементов водного баланса, что вызывает в ряде случаев определенные сомнения в отношении полученных количественных оценок;

— трудности при переносе данных и результатов, полученных, например, на стоковых площадках, орошаемых и осушенных массивах, на крупные речные водосборы, имеющие замкнутый водный баланс;

— трудности охвата детальными экспериментальными данными всего множества антропогенных факторов, которые одновременно действуют в пределах большого речного водосбора и оказывают, прямо или косвенно, самое различное влияние на условия формирования стока и гидрологический режим.

Учитывая достоинства и недостатки статистических и воднобалансовых методов, наиболее рациональным является их тщательный анализ с точки зрения возможности и целесообразности применения в тех или иных условиях; одновременное применение методов из различных групп позволяет получать наиболее надежные выводы и осуществлять контроль полученных результатов.

Методы физического моделирования применимы при наличии специальных гидравлических или русловых лабораторий, в которых в определенном масштабе строится модель участка русла реки, водосбора, озера; на моделях проводятся всесторонние исследования, выводы которых затем перерасчитываются с учетом масштабных коэффициентов. Создание физической модели водного объекта требует его тщательного изучения в натуре, всесторонних измерений, правильного выбора масштабных

коэффициентов, дорогостоящего оборудования, научно-обоснованной интерпретации полученных выводов при переходе от модели к натуре.

Методы физического моделирования чаще всего применяются для исследования участков русел, при этом выявляются возможные изменения режима реки (уровни, скорости, интенсивности размывов, режим наносов и т. п.) под влиянием различных воздействий на участке (выпрямление русла, карьерные работы — выемки, дамбы обвалования, строительство мостов, водозаборов и сбросов и т. д.). Надежность выводов зависит от степени изученности объекта в натуре, детализации модели, от сходства модели и природы, от принятого масштаба; чтобы получать достоверные результаты нужно строить большие и точные модели, а это требует много времени и средств.

Применение методов математического моделирования к оценке влияния хозяйственной деятельности на гидрологический режим предполагает следующие этапы: детальное изучение процесса в натуре, составление уравнений, описывающих изменение во времени и пространстве элементов водного баланса и гидрологического режима; решение этих уравнений на компьютерах и расчеты с целью определения по натурным данным отдельных параметров и коэффициентов принятых уравнений (так называемая калибровка модели); численный эксперимент, т. е. выполнение на компьютерах расчетов по разработанной схеме при разных начальных условиях и при различных значениях параметров для выявления влияния метеорологических факторов и хозяйственной деятельности на гидрологические характеристики.

Методы математического моделирования обладают большими достоинствами, поскольку за короткое время и без больших затрат позволяют количественно оценить влияние самого разнообразного сочетания естественных и антропогенных факторов и тем самым дают возможность рассчитывать и прогнозировать гидрологический режим и водный баланс водосборов при осуществлении тех или иных вариантов хозяйственного освоения территорий в будущем.

Недостаток методов математического моделирования состоит в том, что полученные выводы зависят не только от надежности исходных данных, но и от полноты и обоснованности принятых расчетных уравнений, зависящих от изученности самого процесса и от правильности определения необходимых параметров и коэффициентов. Нередко

даже для одних и тех же водосборов многочисленные параметры сложных моделей оказываются неустойчивыми или физически малообоснованными, в связи с чем не всегда удается надежно рассчитать влияние на сток даже метеорологических факторов, не говоря уже об изменениях подстилающей поверхности и условий формирования стока, вызванных хозяйственной деятельностью.

Наиболее распространено математическое моделирование для оценки влияния хозяйственной деятельности на гидрологические процессы, которые довольно надежно описываются математически.

Методы активного эксперимента в одно время были весьма популярны за рубежом и чаще всего используются для оценки влияния на гидрологический режим различных видов землепользования. Основная идея методов заключается в том, что на водосборе, имеющем достаточно длинный и надежный ряд наблюдений за гидрологическим режимом и обуславливающими его метеорологическими элементами, производится искусственное изменение одного из факторов подстилающей поверхности (вырубают или сжигают лес, изменяют условия агротехники и т. п.), влияние которого на режим и водный баланс хотят выяснить, и снова в течение ряда лет проводят наблюдения за всеми элементами водного баланса. Сопоставляя элементы водного баланса до и после проведения мероприятий на водосборе, судят об их влиянии на те или иные гидрологические характеристики.

Метод активного эксперимента является наиболее эффективным для выявления роли факторов подстилающей поверхности на данном конкретном водосборе для строго определенного отрезка времени, однако ввиду присущих ему существенных недостатков он никак не может рассматриваться как основной метод оценки влияния хозяйственной деятельности на гидрологический режим. Прежде всего, этот метод является очень дорогостоящим и для получения надежных выводов требует постановки многолетних наблюдений, включающих годы с различными метеорологическими условиями. Кроме того, метод активного эксперимента практически всегда применяется на малых водосборах, и выводы его далеко не всегда репрезентативны для больших и средних рек (нерепрезентативность в пространстве). Однако не менее важна при применении методов активного эксперимента возможная нерепрезентативность во времени, которая, к сожалению, далеко не всегда учитывается.

9.2. ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННО-КОММУНАЛЬНОГО И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

9.2.1. Полное и безвозвратное водопотребление. Динамика суммарного водопотребления

Непосредственное изъятие воды из рек, озер, водохранилищ, подземных горизонтов на хозяйственные нужды, использование ее для различных целей и сбросы использованных вод обратно в водные объекты является важнейшим фактором воздействия человека на количественные и качественные характеристики природных вод.

Во всех странах мира существуют системы учета использования воды. В России и в странах бывшего СССР такая система существует уже более полувека. Начиная с 1960-х гг. Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР и РСФСР публиковались обобщенные ежегодные данные по использованию воды различными водопотребителями — жилищно-коммунальным хозяйством, промышленностью и теплоэнергетикой, сельским хозяйством.

Основными характеристиками любой системы учета использования вод являются:

— объем водозабора из водного объекта (отдельно из поверхностных водных объектов и из подземных вод); часто объем водозабора называют полным водопотреблением;

— объем сброса использованных вод или объем водоотведения с обязательными показателями качества воды; это основополагающая характеристика влияния водопотребления на качество природных вод;

— объем безвозвратного водопотребления, представляющий собой разницу между водозабором и объемом воды, поступившей после использования обратно в водные объекты; обычно этот объем отождествляют с объемом сброса или водоотведения.

Объем безвозвратного водопотребления, который часто приводят в процентах от объема полного водопотребления, является важнейшей характеристикой количественной оценки влияния водопотребления на водные ресурсы.

По своей структуре безвозвратное водопотребление может быть разделено на три вида:

— потери на дополнительное испарение за счет солнечной энергии при водоподаче от источника водозабора до места, где вода используется (орошаемое поле, промышленное предприятие, тепловая или атомная станция, жилой дом и т. д.), и обратно, при сбросах использованной воды в гидротехническую сеть;

— потери воды на испарение на месте использования: при орошении за счет солнечной энергии и при промышленно-коммунальном водопотреблении за счет тепла, используемого на обогрев зданий и выделяемого на предприятиях в ходе технологического процесса;

— потери воды за счет включения ее в состав готовой продукции.

Второй и третий вид потерь практически не зависят от климатических условий и целиком определяются характером использования воды на производстве и в быту. Выполненный анализ структуры безвозвратных потерь по указанному принципу показал, что и для промышленно-коммунального водопотребления большая часть безвозвратных потерь воды приходится на первый вид, и, следовательно, объем безвозвратного водопотребления не только в орошении, но и в промышленности, и в коммунальном хозяйстве при прочих равных условиях должен быть более значительным для южных районов с сухим, жарким климатом, чем для северных и избыточно увлажненных районов.

Начиная с конца 1970-х гг. в бывшем СССР была введена государственная отчетность по использованию водных ресурсов отдельными водопотребителями по статистической форме 2-ТП (водхоз), которая существует до настоящего времени. При этом с 1980 г. публикуются ежегодные издания с основными показателями использования вод в стране, в том числе по отдельным водопотребителям и регионам. К 1985 г. статистической отчетностью было охвачено в России более 45 тыс. наиболее крупных с точки зрения водопотребления предприятий, организаций и учреждений. По оценке Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), водопотребители, отчитывающиеся по форме 2-ТП (водхоз), имели объем водозабора, составляющий примерно 97–98% суммарного водозабора в стране (Использование... 1981–1989 гг.).

Приведенные данные всеобщего учета по форме 2-ТП (водхоз) никак не свидетельствуют о надеж-

ности полученных величин водопотребления и водоотведения. Как показал выполненный в 2006 г. детальный анализ отчетных данных водопотребителями по форме 2-ТП (водхоз) в бассейне р. Кубань, где наиболее интенсивно используются водные ресурсы и отчеты представляются более чем 1300 водопотребителями, данные учета имеют очень низкую точность (Шикломанов и др., 2008). Особенно это касается объемов водоотведения, а следовательно, и величин безвозвратного водопотребления. Это происходит потому, что в соответствии с существующим порядком водопотребители сами заполняют отчетные формы, и большинство из них вообще не измеряют объемы водопотребления и вместо фактических данных просто указывают в них плановые показатели. В условиях, когда местные органы Росводресурсов (Бассейновые округа), получающие от водопотребителей заполненные формы 2-ТП (водхоз), не наделены функциями проверки и контроля, они просто обобщают полученные данные по отраслям, бассейнам и регионам и направляют их в вышестоящие организации для обобщения в масштабах всей страны и для последующей публикации. Отсюда мы имеем практически по всем бассейнам и регионам более или менее достоверные данные по объемам водозаборов (крупные водопотребители, в основном, измеряют объемы получаемой воды) и крайне ненадежные данные по величинам сбросов и тем более по величине безвозвратного водопотребления. Последние данные обычно даже не приводятся в официальных статистических обобщениях и в ежегодных изданиях Государственного водного кадастра (Государственный водный кадастр... 1982–2005).

По всей видимости, последнее обусловлено не только низкой точностью оценки безвозвратного водопотребления, но и большой неопределенностью его подсчета. Дело в том, что в официальных изданиях по водопотреблению в последние годы приводятся два показателя объема водопотребления: объем водозабора из водного объекта и объем используемой воды. При этом объем используемой воды, как правило, на 10–15% меньше объема водозабора. В таких условиях возникает неточность в определении объема безвозвратного водопотребления: если его определять относительно объема водозабора, то это будет явно завышенная величина, поскольку какая-то часть неиспользуемой воды неизбежно возвращается в водные объекты поверхностным или подземным путем. С другой стороны, определение безвозвратного водопотребления от-

носительно объема использованной воды, естественно, дает заниженные результаты.

Указанными выше обстоятельствами в значительной степени объясняются существенные различия данных для ряда речных бассейнов в объемах безвозвратного водопотребления и изменениях стока рек за счет непосредственных изъятий воды на хозяйственные нужды (Государственный водный кадастр... 1982–2005; Шикломанов, 1989; Шикломанов, Георгиевский, 1995; Георгиевский, 2005; Демин, 2007; и др.). Убедительные сведения о разноречивости и малой достоверности данных о водопотреблении и изъятиях воды из источников приводятся и в монографии известного в области гидрологии и водного хозяйства Д. Я. Ратковича (Раткович, 2003).

Обобщенные статистические данные по водопотреблению публикуются в различных изданиях Министерств мелиорации и водного хозяйства СССР и РСФСР: за 1960–1970-е гг. — в ежегодниках «Водопотребление и водоотведение по Российской Федерации»; за 1970–1980-е гг. — в периодических публикациях «Развитие мелиорации земель»; за 1980-е гг. — в изданиях Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) «Использование и охрана водных ресурсов СССР» и в ежегодниках Минводхоза СССР «Основные показатели использования вод в СССР». Начиная с 1981 г. и по настоящее время ГГИ с участием организаций Минводхоза (Росводресурсы) публикует данные по водопотреблению (в основном по бассейнам рек) в рамках «Государственного водного кадастра»; с 1990-х гг. институт РосНИВХ (Екатеринбург) периодически публикует справочные издания «Воды России (состояние, использование, охрана)»; после 2000 г. публикуются статистические справочники «Регионы России», где также приводятся данные по водопотреблению. Помимо этого имеется огромное количество самых различных научно-технических публикаций — обзоров, докладов, статей, монографий по России в целом, по регионам, отдельным бассейнам рек и морей, по отраслям экономики, где приводятся и анализируются те или иные сведения по водопотреблению.

Но даже в официальных изданиях, основанных на данных 2 ТП (водхоз), в целом по России нередко приводятся весьма неоднородные сведения по различным характеристикам водопотребления за одни и те же годы, что крайне затрудняет анализ их динамики за многолетний период. Например, в од-

Таблица 9.1

Нормы коммунального водоснабжения в бывшем СССР

Степень благоустроенности зданий	Норма водопотребления (л/сут на одного жителя)		Коэффициенты неравномерности	
	средне-суточная за год	максимальная суточная	$K_{сут}$	$K_ч$
Водопровод, канализация, централизованное горячее водоснабжение	275–400	300–420	1,09–1,05	1,25–1,20
Водопровод, канализация, ванны с газовыми колонками	180–230	200–250	1,11–1,09	1,30–1,25
Водопровод, канализация, без ванн	125–150	140–170	1,12–1,13	1,50–1,40
Без водопровода и канализации	30–50	40–60	1,33–1,20	2,00–1,80

Примечание. Верхний предел норм относится к южным районам, нижний — к северным.

Йорк — 600, Париж — 500, Лондон — 300, Осло — 590 и т. д.) (Зарубаев, 1976; Шикломанов, Маркова, 1987).

В развивающихся аграрных странах Азии, Африки, Латинской Америки удельное коммунальное водопотребление находится в пределах 50–100 л/сут, а для отдельных районов и даже стран с очень низкими доходами и недостатком водных ресурсов не превышает 10–40 л/сут пресной воды на одного жителя. В некоторых малых городах России при отсутствии централизованного водоснабжения и канализации удельное коммунальное водопотребление составляет 60–80 л/сут.

Интересно отметить, что в соответствии с исследованиями, выполненными известным американским специалистом в области водопотребления П. Глейком (Gleick, 1996), минимальное количество питьевой воды, необходимое для удовлетворения потребностей человека, должно составлять 50 л/сут на человека. Он предлагает рассматривать эту величину, как неотъемлемое право любого жителя нашей планеты, в каких бы условиях он ни проживал.

В связи с ростом городов, повышением уровня их благоустроенности, улучшением жизненных условий и повышением культуры населения удельное водопотребление на коммунальные нужды в большинстве стран мира — как развитых, так и развивающихся, постоянно увеличивается. Например, если в начале XX в. в России в населенных пунктах с водопроводами в сутки потреблялось 15–30 л на одного человека, то в настоящее время городское население России потребляет в среднем около

270 л/сут на одного жителя. В США с 1900 по 1995 г. удельное потребление городского населения выросло с 100–150 до 700 л/сут (Murray and Reeves, 1972; Gleick, 1998), т. е. в 5–7 раз. По исследованиям, проведенным в США и в Канаде, показано, что удельное водопотребление на уровне 700 л/сут является достаточным для обеспечения комфортной жизни (Schetter, 1990). В условиях жаркого климата эта величина может быть несколько выше, а холодного — ниже. Следует отметить при этом, что среди всех стран мира США и Канада отличаются особенно высоким удельным водопотреблением на коммунальные нужды, что обусловлено особенностями этих стран, где большая часть городского населения проживает в отдельных домах с приусадебными участками. В странах Западной Европы считается достаточным для обеспечения комфортной жизни в этих странах объем коммунального водопотребления не более 300–350 л/сут на одного жителя (Gleick, 1996).

Сегодня, когда потребление воды нужного качества в большинстве городов связано с ее дополнительной обработкой и повторным использованием, основной тенденцией в развитых странах мира является ориентация на экономию воды и снижение удельного водопотребления (Fleming, Daniell, 1994; Seckler et al., 1998), и как регулирующий фактор ученые называют цену на воду.

Тем не менее, например, в США за период с 1980 по 1990 г., хотя цены на воду и выросли в 2–3 раза вследствие высокой стоимости капитального строительства и более строгих ограничений по охране окружающей среды (Russell, Woodcock, 1993), это не привело к снижению удельного коммунального водопотребления ни в США, ни в Канаде (Gleick, 1998; Shiklomanov, Rodda, (ed.), 2003).

За тот же период затраты воды на коммунальное водопотребление значительно возросли и в европейских странах. По данным (ICWS, 1996; IWSA, 1997), за 1980–1995 гг. величины удельного потребления воды на нужды населения в л/сут на одного жителя возросли почти во всех странах Западной Европы, при этом за период 1975–1990 гг. во Франции, Великобритании и Нидерландах увеличение составило 22–27%.

Тенденция увеличения коммунального водопотребления в 1970–1980-е гг. была характерна не только для высокоразвитых стран Европы, но и для развивающихся стран, о чем свидетельствуют данные, приведенные в работе (Margat, Vallee, 2000) для стран, прилегающих к Средиземному морю. По

этим данным, с 1970 по 1995 г. удельное коммунальное водопотребление во Франции выросло (в л/сут на одного жителя) с 190 до 290, в Израиле — с 230 до 290, в Испании — с 140 до 340, в Тунисе — с 60 до 120; в Алжире и Марокко с 1970 по 1990 г. рост составил соответственно с 50 до 125 и с 40 до 180. И только в одной средиземноморской стране — в Египте, с 1972 по 1992 г. удельное водопотребление сократилось с 240 до 180 л/сут на одного жителя.

Следует отметить, что в последнее десятилетие во многих странах Западной Европы принимаются самые серьезные меры по экономии воды в коммунальном хозяйстве без ухудшения комфортности проживания городского населения.

В России на фоне резкого уменьшения объема общего водопотребления за период 1990–2005 гг. (в 1,6 раз) (рис. 9.1), объем коммунального водопотребления сократился только в 1,2 раза, как следует из графика, представленного на рис. 9.3, а удельное водопотребление уменьшилось всего на 15% за счет некоторого сокращения численности городского населения.

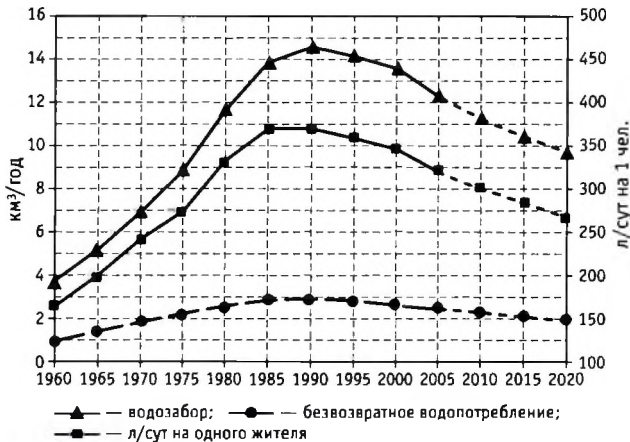


Рис. 9.3. Динамика коммунального водопотребления в России (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

Суммарные объемы воды, используемой на коммунальные нужды в том или ином регионе, стране или бассейне, определяются величиной удельного водопотребления и численностью городского населения. Годовые величины коммунального водопотребления за различные годы по регионам России и по СССР в целом приводятся в статистических ежегодниках и в различного рода публикациях, обобщающих статистические данные за отдельные периоды (Водопотребление и водоотведение... 1971–1979 гг.; Воды России... 1991–2002; Шикло-

манов, 1989, и др.). Периодически в международных изданиях публикуются данные и по странам мира (WRI 1990; 1996; 2000; Gleick 1993, 1998; World Bank, 1993, 1995; Shiklomanov, 2003). К сожалению, публикуемые данные по отдельным странам не всегда сравнимы между собой, поскольку одни авторы приводят суммарное водопотребление городским и сельским населением (например, Австралия, Бразилия), другие только водопотребление городским населением (например, Россия, восточно-европейские и африканские страны). Некоторые страны в объем коммунального водопотребления включают и водопотребление всех промышленных предприятий, расположенных в городах. В качестве примера, в гл. 12 настоящей монографии, приводятся приближенные данные по полному и безвозвратному водопотреблению на промышленные нужды на уровень 2000 г. по 57 странам мира различных континентов.

Значительно сложнее найти данные по динамике величин коммунального водопотребления по речным бассейнам, поскольку статистические данные собираются по административным регионам; по отдельным бассейнам такие данные являются результатом специальных исследований и публикуются в научной литературе. Ниже (см. разд. 9.6.2) показана динамика коммунального водопотребления для бассейна р. Волга.

При расчетах водного баланса, для определения объемов сточных вод и количественной оценки влияния водопотребления на водные ресурсы большое значение имеют величины безвозвратного водопотребления на коммунальные нужды населения и объемы водоотведения. Большая часть забранной воды в городском водоснабжении после использования при эффективно действующей системе канализации возвращается снова (после очистки или без нее) в гидрографическую сеть в виде сточных вод. При этом основная часть безвозвратных потерь складывается из потерь на испарение, при утечках из водопроводной и канализационной сети, при поливах зеленых насаждений, улиц, зон отдыха, приусадебных участков и т. п. и, таким образом, в значительной степени зависит от климатических условий: в сухих, жарких районах потери, естественно, больше, чем в холодных и влажных. Безвозвратное водопотребление непосредственно на личные нужды человека невелико по сравнению с потерями воды на испарение.

Очевидно, что величины безвозвратных потерь воды при коммунальном водопотреблении, выра-

жаемые обычно в процентах от водозабора, в значительной степени зависят от объемов удельного водопотребления на коммунальные нужды. Так, в современных благоустроенных городах с централизованной водопроводной сетью и эффективной системой канализации безвозвратные потери не превышают обычно 5–10% от суммарного водозабора. Для малых городов с большим фондом индивидуальных застроек, не обеспеченных полностью централизованной канализационной системой, где удельное водопотребление составляет в среднем 80–120 л/сут, безвозвратные потери значительно возрастают и могут достигать 40–60% от водозабора. При этом наименьшие величины относятся к северным районам, наибольшие — к сухим южным.

Таким образом, величина безвозвратного водопотребления, зависящая от многих факторов, изменяется в больших пределах для отдельных городов, районов, стран. Для России в целом, например, по современным оценкам ГГИ безвозвратные потери при хозяйственно-бытовом водопотреблении городов составляли в среднем 0,25–0,30% в 1960–1970-е гг. и в настоящее время составляют 0,20–0,22% от водозабора (см. рис. 9.3), изменяясь для отдельных крупных речных бассейнов от 10 до 30%.

Примерно такие же величины (в среднем около 15%) характерны и для США. В промышленных странах и регионах Западной Европы безвозвратное водопотребление при хозяйственно-бытовом водоснабжении оценивается в среднем от 10 до 15%; изменяясь по регионам от 5 до 30%, последние величины относятся к южным регионам с очень старыми системами водоснабжения, построенными более ста лет назад. Осредненные данные по величинам безвозвратного водопотребления по странам мира см. в гл. 12 настоящей монографии.

Приведенные данные по величинам безвозвратного водопотребления, даже осредненные по странам, по причинам, указанным выше, крайне ориентировочны; еще менее точны они для речных водосборов, по которым данные статистического учета вообще отсутствуют. В связи с этим в ГГИ для оценки влияния коммунального водопотребления на годовой сток крупных рек в основном ориентируются на данные по полному водопотреблению, переходя от них к безвозвратным потерям путем введения коэффициентов, которые зависят от различного рода характеристик водопотребления и климатических условий.

Таким образом, уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления $\Delta U_{\text{КОМ}}$ будет равно:

$$\Delta U_{\text{КОМ}} = K_{\text{КОМ}} \cdot Q_{\text{ВЗБ.КОМ}}, \quad (9.1)$$

где $Q_{\text{ВЗБ.КОМ}}$ — объем водозабора на коммунальные нужды; $K_{\text{КОМ}}$ — коэффициент, значения которого зависят от климатических условий и величин водозаборов.

Исходя из опыта исследований ГГИ (Шикломанов, 1979; 1989) на уровень 1985 г., величина коэффициента принималась равной для крупных речных бассейнов в северных районах $K_{\text{КОМ}} = 0,10–0,15$, в южных — $K_{\text{КОМ}} = 0,20–0,30$. Учитывая, что за период 1985–2005 гг. величина водозабора на коммунальные нужды в стране изменилась очень незначительно (см. рис. 9.1 и 9.3), указанные значения коэффициентов, по всей видимости, могут быть приняты и для современных оценок. По изложенной схеме в 1985 г. в ГГИ были выполнены оценки изменений годового стока за счет коммунального водопотребления для всех крупных рек бывшего СССР. Для р. Волга на уровень 1980–1985 гг. эта величина составила $\Delta U_{\text{КОМ}} = 0,85 \text{ км}^3/\text{год}$; можно полагать, что современные изменения также близки к этому значению.

Что касается оценок на перспективу 2015–2020 гг., то при этом должны учитываться, с одной стороны современная тенденция развития коммунального водопотребления, которая имеет место во всех регионах и странах мира, особенно развивающихся, и, конечно, в России — сооружение в больших и малых городах эффективных централизованных систем водопроводов и канализации, подключение к этим системам все большего количества зданий и населенных пунктов; с другой стороны, необходимо учитывать мероприятия, которые проводятся во многих городах по сокращению удельного водопотребления за счет широкого внедрения в каждой квартире современных приборов по учету воды, новой санитарной техники, уменьшению потерь в водопроводной сети. При увеличении в перспективе удельных величин коммунального водопотребления величины безвозвратного водопотребления, выраженные в процентах от водозабора, могут несколько уменьшаться.

Это обстоятельство принималось во внимание в работах ГГИ по оценке на перспективу до 2025 г. динамики безвозвратного водопотребления на коммунальные нужды для природно-экономических регионов мира, где преобладали развивающиеся

страны, результаты которых опубликованы в работах (Shiklomanov, Rodda (ed.), 2003; Shiklomanov, 2004), а также представлены в кратком виде ниже, в гл. 12.

9.2.3. Водопотребление промышленностью и теплоэнергетикой

Вода в промышленности применяется для охлаждения нагреваемых в процессе производства агрегатов, механизмов, инструментов; для транспорта и мойки; используется как растворитель, входит в состав готовой продукции. Значительное количество воды используется для поддержания в производственных помещениях и на территории предприятий необходимых санитарно-гигиенических условий и на удовлетворение потребностей работающего персонала. В качестве главного водопотребителя в промышленности выступают тепловые и атомные станции, которые требуют большого количества воды для охлаждения агрегатов.

Объемы промышленного водопотребления различны не только для отдельных отраслей промышленности, но даже для выпуска одной и той же продукции в зависимости от технологии производственного процесса. Зависят они и от климатических условий. Как правило, в северных районах водопотребление промышленностью значительно меньше, чем в южных с высокими температурами воздуха. Главными потребителями воды в промышленности, кроме теплоэнергетики, являются химия и нефтехимия, черная и цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность и машиностроение. Например, в бывшем СССР в 1980 г. из 107 км³ воды, потребленной промышленностью, на долю теплоэнергетики пришлось примерно 66%, а на долю всех перечисленных выше отраслей — 89% всего промышленного водопотребления.

По данным, представленным в работе (The Global 2000; 1980), в 1977 г. в США на теплоэнергетику приходилось 76% промышленного водопотребления, в Японии — 72%, в Австралии — 60%. На уровень 1996 г. в США на долю теплоэнергетики приходилось уже 87% промышленного водопотребления и 47% суммарного водопотребления (Gleick, 1998).

Для характеристики водоемкости продукции, выпускаемой промышленностью, обычно используют удельные показатели расхода свежей воды (на 1 т готовой продукции, на 1 кВт/ч, на единицу за-

трат и т. д.). Так, в черной металлургии на добычу и обогащение 1 т руды расходуется в среднем 2–4 м³ свежей воды, на производство 1 т чугуна — 40–50 м³, проката — 10–15 м³, меди — 500 м³, никеля — 4000 м³. Особенно большой расход воды требуется для предприятий целлюлозно-бумажной и нефтехимической промышленности: на производство 1 т целлюлозы требуется обычно 400–500 м³ воды, вискозного шелка — 1000–1100 м³, синтетической резины — до 2800 м³, синтетических волокон и пластмасс — 2500–5000 м³, конденсаторной бумаги — до 6000 м³ и т. д.

Для теплоэлектростанции мощностью 1 млн кВт требуется 1,0–1,6 км³ воды в год. Еще больше (в 1,5–2,0 раза, а по некоторым данным — в 3–4 раза) требуется воды для атомных станций той же мощности. Отметим, что сейчас существуют, строятся и проектируются тепловые и атомные станции мощностью 3–5 млн кВт и более. Для целлюлозно-бумажного комбината мощностью 500 тыс. т продукции в год ежегодно требуется 435 млн м³ свежей воды, а для среднего по мощности металлургического завода — примерно 250 млн м³ (Левин, 1973).

Уже приведенные величины дают основание предполагать, что в последние два-три десятилетия должно резко увеличиться водопотребление промышленностью, поскольку именно в это время во всем мире резко выросло производство электроэнергии на тепловых и атомных станциях, интенсивно развивается производство синтетических волокон, искусственного каучука, пластмасс, целлюлозы, которые требуют особенно огромных затрат воды.

Основные характеристики промышленного водопотребления — объемы забора свежей воды, безвозвратного водопотребления, водоотведения — в очень большой степени зависят от принятой схемы водоснабжения. Как известно, существуют две основные принципиально различные схемы — прямоточная и оборотная. При прямоточной системе забираемая из источника вода после использования (с очисткой или без очистки) сбрасывается в водотоки. При оборотной системе использования вода охлаждается, очищается и снова поступает в систему водоснабжения. Таким образом, система оборотного водоснабжения исключает сброс отработанных вод обратно в водоемы или водотоки и предусматривает их многократное использование в производстве. Количество необходимой свежей воды в случае оборотного водоснабжения незначи-

тельно и определяется расходом, необходимым для восполнения безвозвратного водопотребления в процессе производства и регенерации, а также для периодической замены воды в оборотных циклах.

Например, тепловая станция при мощности 1 млн кВт при прямоточном водоснабжении потребляет 1,58 км³/год свежей воды, а при оборотном — всего 0,12 км³/год, или в 13 раз меньше (Использование... 1973). По данным, ГРЭС мощностью 1,2 млн кВт при прямоточной системе требует 1,47 км³ свежей воды, а с оборотной системой — всего 0,116 км³; металлургические заводы с оборотной системой водоснабжения и замкнутыми циклами для всех цехов на производство 1 т чугуна расходуют 37–40 м³ свежей и 350–400 м³ оборотной воды, тогда как действующие металлургические заводы с прямоточной системой водоснабжения для производства 1 т чугуна используют 270–300 м³ свежей и 90–100 м³ оборотной воды (Левин, 1973).

Технический прогресс в промышленном водопотреблении с точки зрения рационального использования водных ресурсов состоит не только во все более широко используемом оборотном водоснабжении, но и во внедрении в производство безводных технологий или процессов, значительно сокращающих количество необходимой свежей воды. В тех отраслях промышленности, где основная часть воды используется для охлаждения, важным фактором снижения ее расхода является замена водяного охлаждения воздушным. Это может дать уменьшение расхода свежей воды в различных отраслях на 50–70% (Шикломанов, Маркова, 1987).

Величина безвозвратного водопотребления в промышленности, как правило, составляет незначительную долю от водозабора, но очень сильно колеблется в зависимости от отрасли, характера водоснабжения, технологического процесса, климатических условий, составляя в энергетике всего 0,5–3% от водозабора, в большинстве отраслей промышленности — 5–20%, достигая в отдельных отраслях 30–40%. Причем, при прямоточной системе водоснабжения безвозвратное водопотребление, выраженное в процентах от водозабора, существенно меньше, чем при оборотной, а забор свежей воды — наоборот.

Развитие промышленного водопотребления является одной из главных причин загрязнения природных вод. Это объясняется, во-первых, очень быстрым ростом промышленности вообще, во-вторых, особенно интенсивным ростом наиболее водоемких производств (производство искусственных

волокон, нефтехимия, целлюлозно-бумажная промышленность и т. д.), в-третьих, бурным развитием теплоэнергетики и строительством атомных станций и, в-четвертых, — очень малым безвозвратным потреблением воды в промышленности, когда абсолютно большая часть забранной на нужды промышленности воды после использования сбрасывается в виде сточных вод, очень часто неочищенных или частично неочищенных, которые загрязняют водные объекты.

Интенсивное использование воды тепловыми и атомными станциями связано со сбросом в реки и озера большого количества подогретых на 8–12 °С отработанных вод. Это нарушает естественный термический режим водных объектов, существенно изменяя многие природные процессы и приводя к проблеме так называемого «теплового загрязнения».

Таким образом, динамика промышленного водопотребления для отдельных районов, стран или речных бассейнов находится под влиянием различных тенденций. С одной стороны, объем водопотребления должен увеличиваться в связи с ростом промышленности и теплоэнергетики, с другой — это увеличение не должно быть пропорциональным росту промышленного производства, в связи с тем, что для многих стран, прежде всего высокоразвитых, характерна тенденция все большего перехода на оборотные системы водоснабжения, а во многих отраслях промышленности — на так называемую безводную, или сухую, технологию. Следует однако отметить, что все современные прогрессивные технологии водообеспечения промышленности требуют очень больших капитальных затрат и, к сожалению, в большинстве своем являются прерогативой высокоразвитых стран с большими доходами.

Несмотря на интенсивный рост промышленного производства, в последние десятилетия во многих высокоразвитых странах мира, начиная с 1970–1980-х гг., отмечается тенденция к стабилизации и даже некоторому уменьшению промышленного водопотребления. Это происходит за счет постоянного снижения удельных затрат воды для производства различных видов промышленной продукции и перехода на оборотное водоснабжение с увеличением циклов повторного использования воды в наиболее водоемких отраслях промышленности.

В качестве примера на рис. 9.4 по данным (David, 1990) представлена динамика уменьшения количества воды, затрачиваемой на производство едини-

цы продукции (рис. 9.4, а) и увеличения количества циклов повторного использования воды (рис. 9.4, б) в наиболее водоемких отраслях промышленности США. Как видно из рисунка, за

30-летний период расход воды на производство единицы продукции в США уменьшился от 2 до более чем 5 раз, а количество циклов повторного использования воды увеличилось от 20% до более

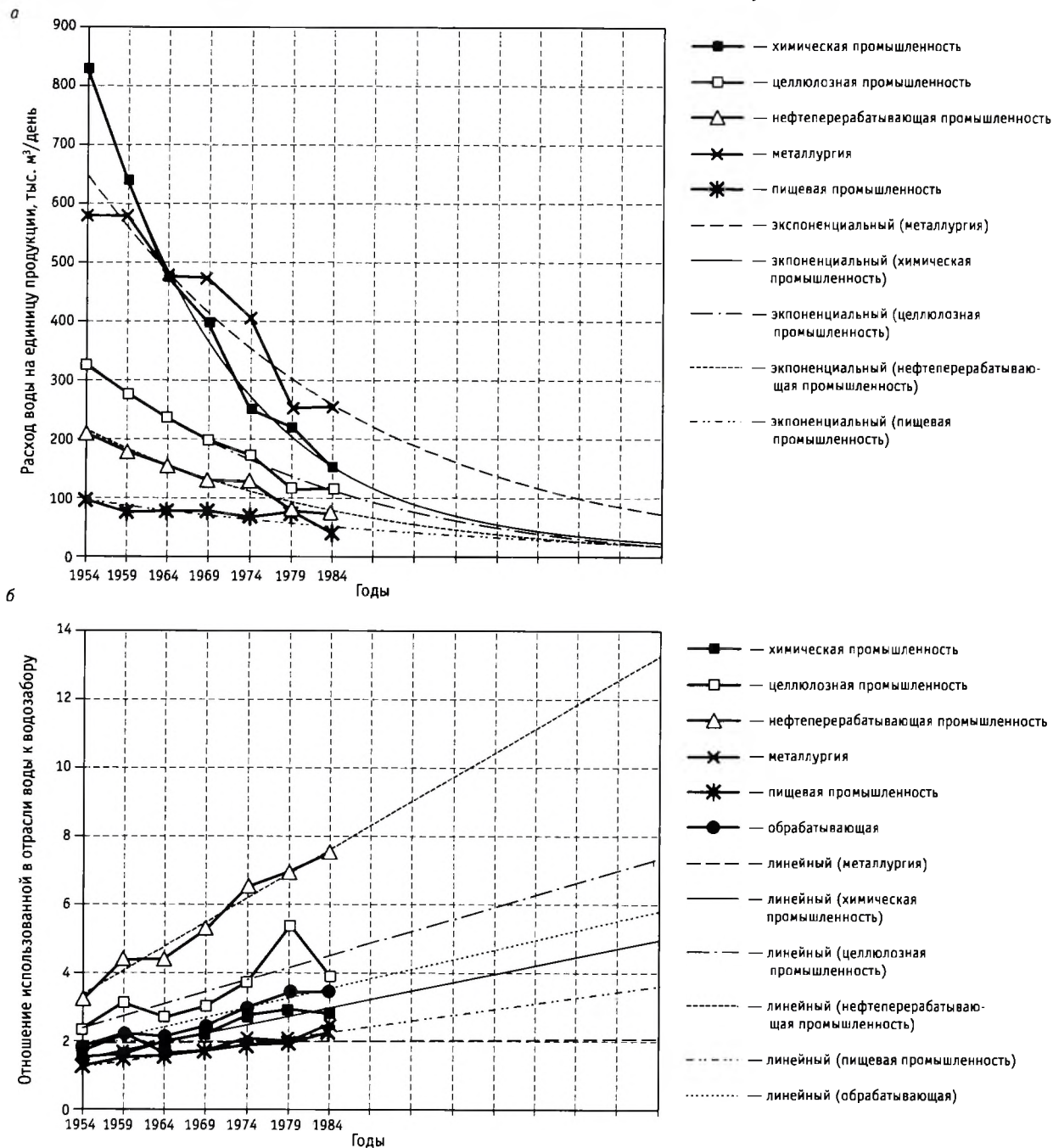


Рис. 9.4. Динамика расхода воды на единицу продукции (а) и количества повторного использования воды (отношение использованной воды к водозабору) (б) для наиболее водоемких отраслей промышленности США (David, 1990)

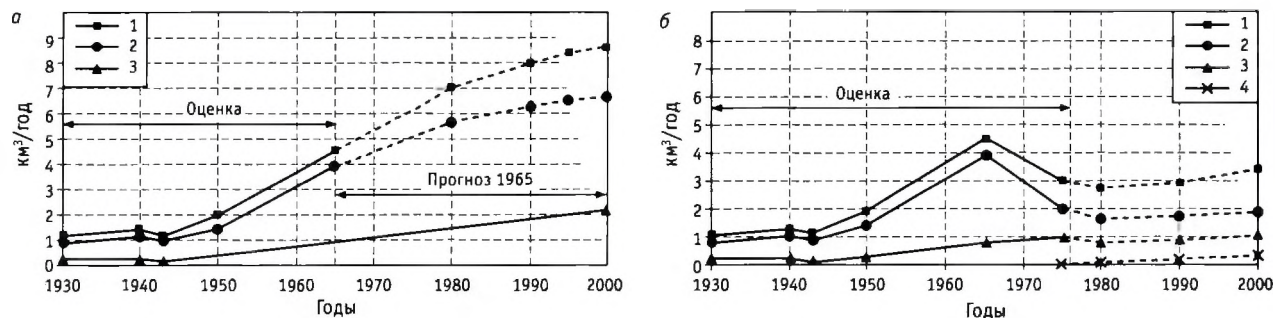


Рис. 9.5. Динамика водопотребления в Швеции по оценкам 1965 г. (а) и 1975 г. (б)

(сплошная линия — оценка по данным наблюдений, пунктирная линия — прогнозные оценки):

1 — суммарное водопотребление (км³/год); 2 — промышленное водопотребление (км³/год); 3 — коммунальное безвозвратное водопотребление (км³/год); 4 — использование воды в ирригации (км³/год)

чем 2 раз (в зависимости от отраслей промышленности). Естественно, что, несмотря на интенсивный рост промышленного производства, это привело к заметному снижению суммарного промышленного водопотребления в стране: с 1980 по 1995 г. объем промышленного водопотребления сократился на 17% (Gleick, 1998).

Аналогичные тенденции имеют место и в большинстве развитых стран Западной Европы. В качестве примера на рис. 9.5 приводится хорошо известный график, показывающий двухкратное уменьшение промышленного водопотребления в Швеции за период с 1965 по 1975 г. (Falkenmark, 1977). Этому способствовало принятое в стране законодательство, которое строго обязывало предпринимателей применять эффективные системы оборотного водопотребления в промышленности.

Динамика промышленного водопотребления в России приведена на рис. 9.1 и 9.6. На последнем графике приближенно выделена главная составляющая промышленного водопотребления — водозабор на нужды теплоэнергетики. Как следует из представленных графиков, до середины 1970-х гг. водопотребление интенсивно увеличивалось в соответствии с ростом промышленного производства; в последующие годы оно практически стабилизировалось и даже несколько снизилось в связи с внедрением в промышленности и теплоэнергетике водосберегающих технологий; после 1991 г. началось резкое уменьшение объема водопотребления, обусловленное общей экономической ситуацией в стране: сокращением (более чем на 45%) выпуска промышленной продукции, закрытием многих предприятий или переходом на неполный рабочий день. В последние пять лет объем промышленного водопотребления становится практически стабиль-

ным, несмотря на начавшийся интенсивный рост промышленного производства. Это объясняется, по-видимому, тем обстоятельством, что на восстанавливаемых и на вновь открываемых предприятиях стали применяться более современные водосберегающие технологии.

Надежная оценка влияния промышленного водопотребления на количественные характеристики гидрологического режима и водных ресурсов регионов и речных бассейнов представляет собой довольно сложную задачу в связи с отсутствием достоверных данных по безвозвратному водопотреблению в промышленности. Как указывалось выше (см. разд. 9.1.3), это происходит потому, что, во-первых, точность и полнота учета водоотведения находится на крайне низком уровне, а во-вторых, даже надежный учет сбросных вод еще недостаточен для расчета безвозвратных потерь, поскольку значительная часть забранной на нужды промышленности воды может испаряться или возвращаться в речную сеть посредством пополнения подземных вод по пути от места водозабора до предприятия и от места сброса до реки.

В ГГИ для приближенной оценки влияния промышленного (так же, как и коммунального) водопотребления на сток рек используют более или менее достоверные данные по объемам водозабора; при этом безвозвратное водопотребление определяется приближенно путем введения коэффициентов, которые зависят от отраслей промышленности, принятой системы водоснабжения и климатических условий. Так по оценкам, выполненным в ГГИ (Шикломанов, 1989) на уровень 1980–1985 гг., величины безвозвратного водопотребления в России, выраженные в процентах от водозабора, принимались равными в промышленности (без теплоэнер-

гетики) от 8–10% (северные районы) до 15–20% (южные районы); в теплоэнергетике соответственно от 1–2% до 3–5%.

В целом для России эти величины на уровень 1975 г. составили в промышленности без теплоэнергетики примерно 10% и в теплоэнергетике — 4% (Принципиальные положения... 1977); для СССР эти показатели составляли соответственно 13% и 4%. Отметим, к примеру, что для США на уровень 1980 г. указанные показатели составляли 13% и 2,1% (Шикломанов, 1989).

По последним оценкам ГГИ, динамика безвозвратного промышленного водопотребления (включая теплоэнергетику) в России представлена на рис. 9.6; в процентном отношении от водозабора она изменяется от 8% в 1965 г. до 12% в 1990 г. и на современный уровень оценивается примерно в 10–11%. В количественном отношении максимальная величина безвозвратного промышленного водопотребления в России была в 1990 г. (6,9 км³, к 2005 г. она уменьшилась до 4,3 км³.

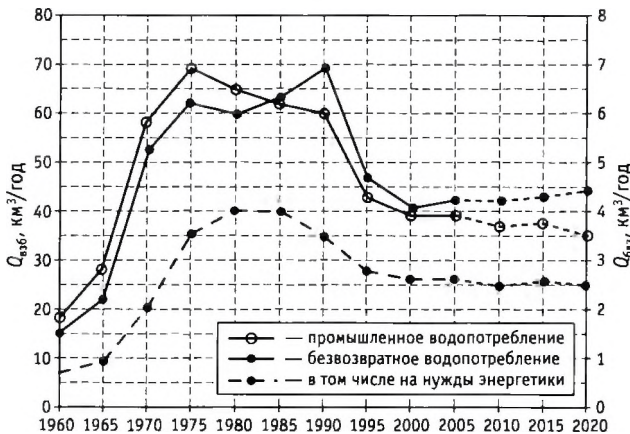


Рис. 9.6. Динамика промышленного водопотребления в России (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

Применительно к большим регионам и речным бассейнам, где имеют место самые различные отрасли промышленности, изменение годового стока рек (водных ресурсов) $\Delta Y_{\text{пр}}$ за счет промышленного водопотребления может быть приближенно оценено по следующим соотношениям:

$$\Delta Y_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{взб. пр}}, \quad (9.2)$$

$$\Delta Y_{\text{тэ}} = K_{\text{тэ}} \cdot Q_{\text{взб. тэ}}$$

где $\Delta Y_{\text{пр}}$ и $\Delta Y_{\text{тэ}}$ — среднее уменьшение годового стока рек, соответственно, за счет водопотребления

промышленностью и теплоэнергетикой; $Q_{\text{взб. пр}}$ и $Q_{\text{взб. тэ}}$ — суммарные водозаборы на нужды промышленности и теплоэнергетики; $K_{\text{пр}}$ и $K_{\text{тэ}}$ — коэффициенты, значения которых на уровень 1980–1990 гг. (когда объем промышленного водопотребления в стране был практически стабильным) могут быть приняты: в промышленности (без теплоэнергетики) $K_{\text{пр}} = 0,08–0,10$ в северных районах и $K_{\text{пр}} = 0,15–0,20$ в южных районах; для теплоэнергетики, соответственно, $K_{\text{тэ}} = 0,01–0,02$ и $K_{\text{тэ}} = 0,03–0,05$.

Рассчитанные в ГГИ по изложенной выше схеме на уровень 1980 г. величины уменьшения годового стока р. Волга за счет промышленного (включая теплоэнергетику) водопотребления составили 2,3 км³, или примерно 12% от объема промышленных водозаборов в бассейне.

Что касается оценок безвозвратного водопотребления за период резкого уменьшения промышленного водопотребления в стране непосредственно после 1990 г., которое произошло в результате обвала промышленного производства, то, по всей видимости, коэффициенты $K_{\text{пр}}$ и $K_{\text{тэ}}$ в формуле 9.2 не претерпят существенных изменений. Однако для оценок за последние 5–7 лет, когда наметился рост промышленного производства и стали сооружаться новые предприятия с современными водосберегающими технологиями использования воды, и, тем более, при расчетах на перспективу до 2015–2020 гг. необходимо учитывать тенденции возможного увеличения указанных коэффициентов.

9.2.4. Орошение и сельскохозяйственное водоснабжение

В регионах и странах мира с аридным и субаридным климатом, где проживает большая часть населения земли, орошение является основным потребителем пресной воды и главной причиной, обуславливающей в маловодные годы или периоды дефицит водных ресурсов. Развитие орошения здесь прежде всего необходимо для обеспечения населения продуктами питания. Несмотря на то что в настоящее время орошается всего больше 15% всех обрабатываемых площадей мира, продукция с орошаемых полей составляет в стоимостном выражении более половины всей сельскохозяйственной продукции. На территории бывшего СССР в 1980-е гг. орошаемые площади занимали 10% всех обрабатываемых земель и давали треть продукции растениеводства.

Огромное значение для решения продовольственной проблемы имеет орошение и для южных районов России, где в небольших объемах оно практикуется издавна, но наиболее интенсивный рост орошаемых площадей начался в 1970-е гг., когда были разработаны грандиозные планы комплексного использования водных ресурсов страны до 2000 г. и столь интенсивное развитие оросительных мероприятий на юге ЕТР, что оно не могло быть обеспечено местными водными ресурсами. С этой целью стали усиленно разрабатываться проекты переброски на юг части стока северных рек (Березнер, 1979, 1985).

Анализ многочисленных источников — статистических сборников Минводхозов РСФСР и СССР, различных опубликованных монографий и статей, данных сайта Минсельхоза РФ позволил достаточно надежно оценить динамику орошаемых земель России за период с начала прошлого века и до нашего времени; на рис. 9.7 представлены данные за период с 1960 по 2005 г. С прошлого века до наших дней величины орошаемых площадей РФ существенно изменились. Если в 1913 г. в стране насчитывалось всего 214 тыс. га орошаемых земель, то к началу 1950-х гг. их величина возросла более чем в 5 раз; непрерывный рост прослеживался и в последующий период, достигнув своего максимума в самом начале 1990-х гг. — свыше 6 млн га.

Максимальный прирост орошаемых площадей наблюдался с 1971 по 1980 г., потом он стал постепенно уменьшаться, и с начала 1990-х гг., т. е. за годы проведения в РФ социально-экономических

преобразований, в связи с прекращением государственного финансирования ирригации в стране пришла в упадок, и уже к 2000 г. площадь орошаемых земель сократилась до 4,5 млн га. Таким образом, современные ее размеры примерно соответствуют уровню орошаемого земледелия конца 1970-х гг. Между тем в Генеральной схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР до 2000 г., разработанной в 1985 г., планировалось довести площади орошения в РСФСР к концу столетия до 10–12 млн га.

Представленные данные касаются земель с оросительной сетью. С точки зрения оценки затрат воды на орошение наибольшее значение имеют данные о фактически политых землях, в пределах которых происходит непосредственное формирование безвозвратных потерь речного стока на орошение. Сведения об этой категории земель имеются за менее продолжительный период по сравнению с материалами о наличии земель с оросительной сетью. Первые обобщенные сведения о политых землях были получены в ходе осуществления «паспортизации» всех мелиоративных систем на территории СССР (и одновременно РСФСР) в 1939 и 1950 гг. (Маслов и др., 2002). Затем, в течение 1950–1990 гг., они стали более или менее регулярно публиковаться в различных статистических сборниках и ежегодниках. В последние годы эти материалы встречаются только на сайте Минсельхоза РФ.

Многолетние колебания политых земель в целом повторяют динамику наличия земель с оросительной сетью (см. рис. 9.7). Если в 1950-е гг. полива-

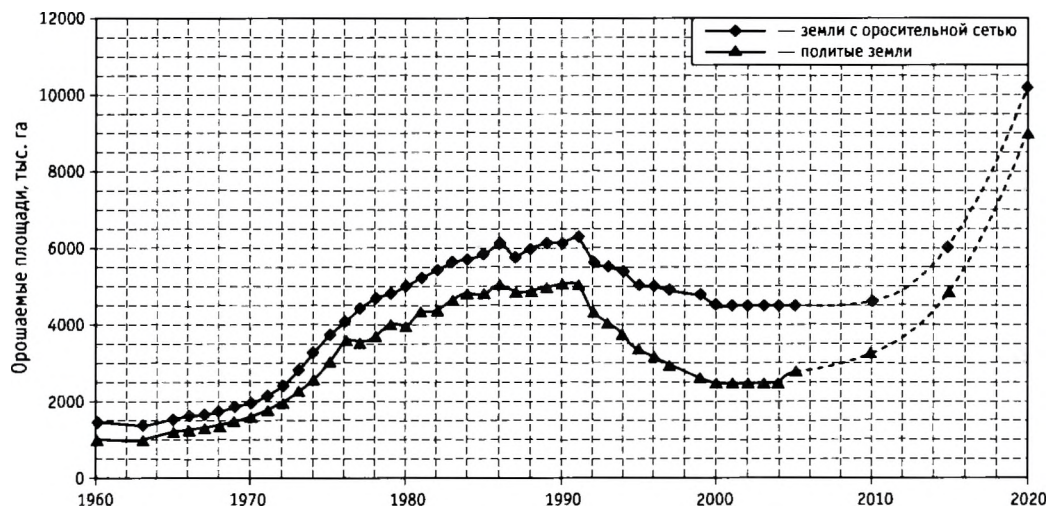


Рис. 9.7. Динамика орошаемых земель России и их использование (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

лось немногим более 50% ирригационно-подготовительных земель, то в последующий период (1970–1990-е гг.) поливалось уже не менее 80–85% орошаемых угодий. С начала 1990 г. с каждым годом все меньше земель стало регулярно поливаться, и к 2005 г. их величина составляла всего 60% от наличия земель с оросительной сетью, что, конечно, не смогло не сказаться и на объемах водопотребления на орошение. Если на начальном периоде развития орошения в России недополив земель в основном связывался с отсутствием необходимых водных ресурсов, неподготовленностью гидротехнических сооружений, недостаточной численностью обслуживающего персонала, то в современных условиях главными факторами, сдерживающими широкое использование орошаемых земель, являются недостаток средств, отсутствие оборудования и запчастей, неисправность существующей оросительной сети, отключение электроэнергии и т. д.

В России наряду с регулярным ч получило определенное развитие и лиманное орошение, связанное с одноразовым весенним увлажнением территории за счет местного стока. Даже в лучшие времена развития ирригации площади лиманного орошения не превышали 5–6% от площадей регулярного орошения. Наибольшее развитие лиманное орошение получило в Заволжье и на Северном Кавказе (Развитие мелиорации... 1986).

Орошаемые площади по территории России распределены крайне неравномерно, причем это распределение существенно изменяется во времени, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Распределение площадей регулярного орошения по федеральным округам РФ (в % от общей площади орошения в стране)

Федеральный округ	1960	1970	1980	1990	2005
Центральный	1,8	3,1	13,4	13,3	11,2
Северо-Западный	0,1	0,4	1,0	0,8	0,4
Южный	65,2	69,8	47,7	45,5	49,7
Приволжский	5,9	7,3	18,7	23,0	20,7
Уральский	0,9	0,8	3,5	3,2	3,4
Сибирский	25,5	17,2	12,7	11,8	11,8
Дальневосточный	0,6	1,4	3,0	2,4	2,7

С 1960 по 2005 г. основные орошаемые массивы России располагались в европейской части страны: от 73% в 1960 г. до 82% в 2005 г. В современных условиях за Уралом находится менее 20% орошаемых

земель РФ. В 1960 г. свыше 90% всех орошаемых земель России было сосредоточено в пределах двух современных федеральных округов (ФО) — Южном (65%) и Сибирском (26%). По мере расширения масштабов мелиоративного строительства заметно стал увеличиваться вклад Центрального и Приволжского ФО. На востоке страны, несмотря на некоторый рост площадей орошаемых земель в Уральском и Дальневосточном ФО, в целом отмечается уменьшение доли орошаемых земель, главным образом, за счет сокращения их в Сибирском ФО.

В Южном ФО основные массивы орошаемых земель сосредоточены в Республике Дагестан, Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской и Астраханской областях. По территории Приволжского округа наибольшее развитие орошение получило в Саратовской и Самарской областях, а также в Республике Татарстан. В Центральном округе лидирующие позиции в развитии орошения занимают Московская, Воронежская и Липецкая области. В Сибирском округе орошаемые земли находятся преимущественно в Республике Бурятия, Алтайском крае и Омской области. На Дальнем Востоке орошаемые земли располагаются, главным образом, на территории Приморского края.

Динамика площадей орошаемых земель в рамках ФО (рис. 9.8) мало отличается от изменения их суммарной величины по территории РФ: рост до начала 1990-х гг., а затем длительный спад, продолжающийся до сих пор. На большей части страны в округах с традиционно развитым орошением снижение орошаемых площадей к 2005 г., по сравнению с 1990 г., составило 20–30%. На территории округов, где орошение стало культивироваться сравнительно недавно, площади земли с оросительной сетью уменьшились на 40–60%.

Своеобразная картина наблюдается и при распределении в России фактически политых земель. В 2005 г. практически не поливались земли, расположенные в Северо-Западном, Уральском и Дальневосточном ФО. В Центральном округе было полито лишь немногим более 30% земель с оросительной сетью, всего по 50% орошаемых земель поливалось в Приволжском и Сибирском ФО. И лишь в Южном округе было полито 72% земель с оросительной сетью.

С точки зрения оценки влияния орошения на сток рек наибольший интерес представляют данные по распределению орошаемых земель на территории основных речных бассейнов России. Учитывая, что основные массивы орошения расположены в

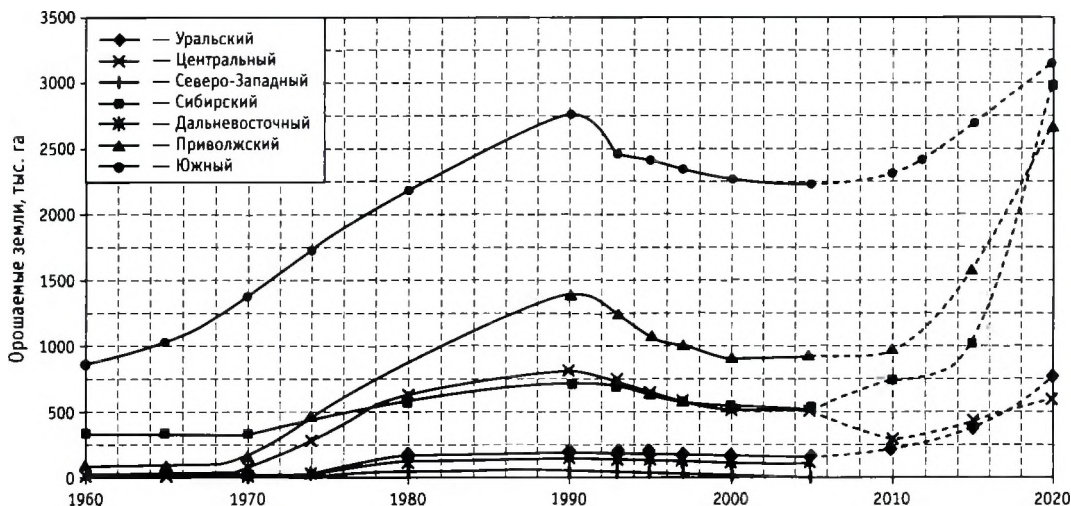


Рис. 9.8. Динамика орошаемых земель по федеральным округам (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

южной части европейской территории страны, в первую очередь это касается бассейнов Волги, Дона, Кубани, Терека и Сулака. Следует отметить, что задача надежной оценки площадей орошаемых земель в пределах речных водосборов является далеко не простой, поскольку статистические данные по речным бассейнам, как правило, отсутствуют, и требуется сбор информации по большому числу субъектов Федерации за длительный промежуток времени, а это представляет собой немалые трудности, тем более, что ряд областей, краев и республик одновременно располагается на территории нескольких речных бассейнов. В связи с изложенным, данные по орошаемым площадям по указанным выше речным бассейнам за многолетний период были получены на основании анализа опубликованных проектных разработок (Генеральная схема... 1985; Березнер, 1985), изданий ГВК за 1986–1990 гг., материалов, опубликованных в научных статьях и монографиях (Шикломанов, 1976; 1979; Демин, 2003; 2007 и др.), а также на основе обобщения статистических сборников и докладов, опубликованных по субъектам Федерации, расположенным на территории рассматриваемых водосборов.

Динамика орошаемых земель в бассейнах рек представлена на рис. 9.9. Площади орошения, которые питаются стоком указанных рек, составляют примерно 72% от суммарных орошаемых площадей РФ, поэтому динамика их во времени в целом хорошо согласуется с данными, приведенными на рис. 9.7. Применительно к отдельным речным бас-

сейнам имеются существенные различия. Максимальные темпы ввода орошаемых земель в 1970-е гг. и темпы их уменьшения после 1990 г. характерны для Волги и Дона; с 1991 г. они сократились соответственно на 39 и 37%. Наименьшие сокращения произошли в бассейнах рек Северного Кавказа: на Кубани на 10% а на Тереке и Сулаке всего на 6%. При этом для бассейнов Волги и Дона отмечается определенная неравномерность сокращения орошаемых земель по территории бассейнов. Например, в пределах Волжского бассейна наибольшее сокращение произошло на территории Верхней Волги (Демин, 2005). На Дону до начала 1970-х гг. около 80% всех орошаемых земель бассейна было сосредоточено в его низовьях — Ростовской области. В последующие годы увеличилось орошение на Среднем Дону и в его верховьях (за счет Волгоградской области и областей Центрального Черноземья).

Развитие орошения на Кубани так же, как и на Дону, начиналось с ее низовьев. В настоящее время основные орошаемые массивы этого бассейна располагаются в среднем и нижнем его течении. Следует отметить, что водами р. Кубань орошаются не только земли, расположенные в пределах ее бассейна (Краснодарский край, республики Адыгея и Карачаево-Черкессия), но и соседнего Ставропольского края (бассейны рек Егорлык и Калаус). Ввод в эксплуатацию двух крупных каналов по переброске стока из Кубани (Невинномысского в 1949 г. и Большого Ставропольского в 1968 г.) позволил резко увеличить площади орошаемых земель

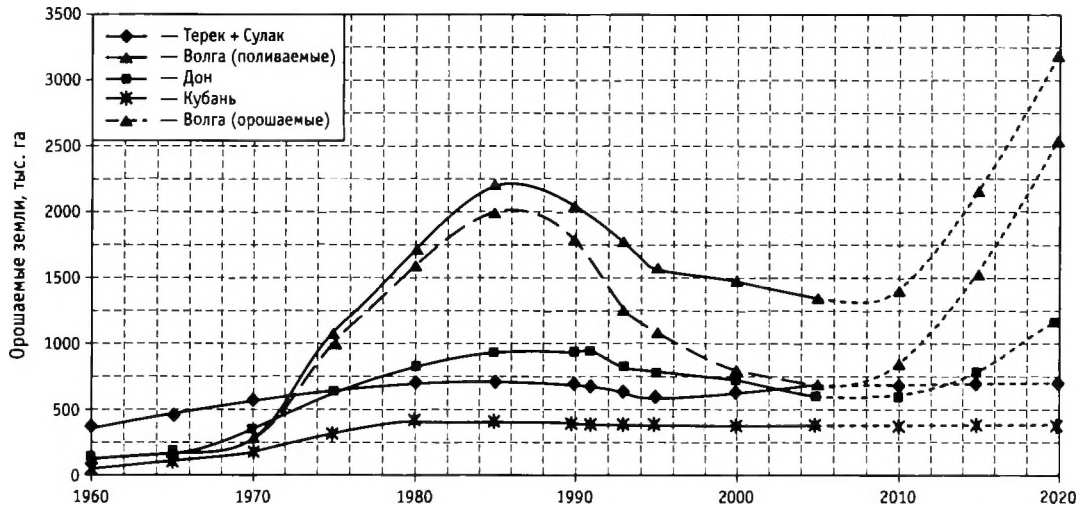


Рис. 9.9. Динамика орошаемых земель в речных бассейнах (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

на Ставрополье. Уже много лет около 60% всех орошаемых земель Ставропольского края обеспечивается за счет использования кубанских вод (Будучина и др., 1986). В 2005 г. стоком р. Кубань орошалось 570 тыс. га, в том числе непосредственно в ее бассейне — 370 тыс. га, и в Ставрополье — 200 тыс. га.

На территории бассейнов Терека и Сулака располагается шесть субъектов РФ. Основные массивы орошения сосредоточены в Республиках Дагестан, Кабардино-Балкария и Чечня, а также в Ставропольском крае. В современных условиях около 25% всех орошаемых земель бассейна располагается в дельте Терека, интенсивное хозяйственное освоение которой стало осуществляться с начала 1950-х гг.

Наряду с наиболее интенсивным уменьшением орошаемых площадей в бассейнах Волги и Дона, за последние 15 лет здесь резко сократились площади фактически поливаемых земель. Если в бассейне Волги в 1970–1980-е гг. поливалось 85–95% орошаемых земель, то с 1990-х гг., в связи с нехваткой материальных и финансовых ресурсов, проценты площадей поливаемых земель стали интенсивно сокращаться: от 80% в 1990 г. до 54% в 2000 г. В 2005 г. в бассейне Волги было полито всего 648 тыс. га или 48% от наличия земель с оросительной сетью. При этом на территории верхней Волги и Оки не поливается до 90%, а в районах средней Волги и Камы до 80% земель с оросительной сетью. Вместе с тем показатели поливов на нижней Волге не опускаются ниже 60–70%. На Дону в 2005 г. было полито 56%

орошаемых земель; в то же время южнее, в бассейнах Кубани и Терека, поливалось соответственно 68 и 87% всех земель, числящихся в составе орошаемых.

Орошение и обеспечивающие его инженерно-технические мероприятия могут оказывать очень существенное влияние на гидрологический цикл и водные ресурсы регионов. Создание крупных орошаемых массивов в аридных районах, использующих огромные объемы пресной воды, приводят к некоторому изменению климата территории и перераспределению во времени и в пространстве многих элементов водного, теплового и солевого балансов, которые происходят не только в пределах орошаемого массива, но и на прилегающих территориях. Все эти процессы в той или иной степени находят отражение в изменениях различных характеристик речного стока.

Важнейшими с практической точки зрения аспектами влияния орошения на гидрологический режим и водный баланс являются вопросы изменения суммарного стока рек, интенсивность которого зависит от большого числа естественных и антропогенных факторов и, прежде всего, от масштабов орошения, типов оросительных систем, объемов полного и безвозвратного водопотребления, местных физико-географических условий.

Естественно, влияние орошения на речной сток будет существенно различным для малых рек, питающихся в основном поверхностным стоком, и крупных речных систем, дренирующих все категории подземных вод и имеющих замкнутый вод-

ный баланс. Для малых рек в результате орошения возможен полный разбор воды из русла реки, однако это еще не говорит о полном истощении водных ресурсов территории, так как большая часть воды в результате фильтрации из каналов и в виде возвратных вод с орошаемых полей поступает на пополнение естественных запасов грунтовых вод, дренируемых более крупными реками.

Для крупных рек изменение стока после орошения в основном определяется изменением суммарного испарения в бассейне, которое состоит из испарения на орошаемых землях и непродуктивного испарения на прилегающих территориях. В зависимости от соотношений указанных значений испарения сток реки после орошения может уменьшиться, продолжительное время оставаться неизменным, а в отдельные периоды даже несколько увеличиваться. Последние два варианта, хотя и кажутся, на первый взгляд, маловероятными, однако они, как показывают исследования, реально могут существовать на больших водосборах с разнообразными физико-географическими характеристиками, на которых одновременно с расширением орошаемых площадей осуществляется осушение заболоченных земель, уничтожение влаголюбивой дикорастущей растительности, уменьшение разливов рек и сокращение продолжительности затопления пойменных участков в результате руслового регулирования, увеличения водозаборов и перевода части поверхностного стока в подземный (Шикломанов, 1979; 1988; Вольфцун и Сумарокова, 1985).

В 1970–1980-е гг. в ГГИ и в ряде других организаций были выполнены комплексные научные исследования по влиянию орошаемого земледелия на водные ресурсы, гидрологический режим и качество речных вод. В ходе этих исследований для оценки и прогноза влияния орошения на годовой и сезонный сток рек были разработаны и практически использованы следующие группы методов:

— детальные воднобалансовые методы, основанные на использовании экспериментальных данных по водному балансу орошаемых земель, применимые для малых и средних речных бассейнов, а также для однородных по физико-географическим условиям регионов;

— упрощенные воднобалансовые методы, основанные на использовании укрупненных проектных показателей, гидрометеорологических и гидрогеологических характеристик — для средних и больших речных бассейнов и регионов перспективного развития орошения;

— методы интегральной оценки по наблюдаемому стоку в замыкающем створе и основным стокообразующим факторам за многолетние периоды — для речных бассейнов южных районов, где орошение является основным видом хозяйственной деятельности и практикуется многие десятилетия.

Детальные воднобалансовые методы, разработанные в ГГИ (Харченко, 1975; 1983; Харченко и др., 1981), весьма трудоемки и требуют наличия большого количества экспериментальных данных, которые, как правило, отсутствуют, поэтому они не находят широкого применения на практике, особенно в районах так называемого перспективного орошения, где современные орошаемые площади и водозаборы незначительны по сравнению со стоком рек, но планируется их интенсивный рост в перспективе.

Для таких районов оценка изменений стока рек была выполнена в ГГИ с использованием приближенных воднобалансовых методов, основанных на фактических данных об орошаемых площадях, водозаборах, коэффициентах полезного действия оросительных систем, глубинах залегания уровня грунтовых вод, различных гидрологических параметрах. При этом в пределах речных бассейнов оценка производилась отдельно для групп оросительных систем, отнесенных к различным орошаемым зонам: периферийной, прибрежной и припойменно-дельтовой, которые характеризуются определенными особенностями водного баланса и гидрологического режима, обусловленными наличием или отсутствием двухсторонней гидрографической связи с рекой, а также гидрогеологическими условиями. Приближенная схема расчета и основные полученные результаты для бассейнов Волги, Дона, Днепра, Днестра, Урала и Кубани приведены в работах (Шикломанов, 1979; 1989).

В южных районах бывшего СССР (в бассейнах рек Средней Азии, Южного Казахстана, Кавказа) в зоне традиционного орошения, где орошение является основным видом хозяйственной деятельности, оказывающим преобладающее влияние на водные ресурсы, оценка и прогноз влияния орошения на речной сток достаточно надежно может быть выполнен на основе статистического анализа многолетних данных наблюдений по стоку в замыкающих створах рек совместно с основными стокообразующими факторами, метеорологическими условиями и динамикой орошаемых площадей в бассейне. Такие оценки в 1970–1980-е гг. были выполнены в ГГИ для рек Аму-Дарья, Сыр-Дарья, Или, Кура и Терек.

В современных условиях для оценки влияния орошаемого земледелия на сток российских рек с развитым орошением — Волга, Дон, Кубань, Терек и Сулак за период до 2005 г. использованы те же, указанные выше, методические приемы, но, естественно, с другими исходными данными по величинам площадей орошаемых и фактически поливаемых земель, их распределению по территории каждого водосбора, по составу поливаемых культур, по состоянию орошаемой сети и способам полива, объемам водозаборов и возвратных вод и т. п.

Основные получаемые результаты по оценке влияния орошения на годовой сток для всех четырех бассейнов за период с 1960 по 2005 г., усредненные за пятилетние периоды, представлены в табл. 9.3. Величины, приведенные в таблице, включают и безвозвратные потери воды за счет сельскохозяйственного водоснабжения (см. ниже). В таблице оценки за период 1960–1980 гг. приняты непосредственно по расчетам ГГИ, выполненным в 1970–1980-х гг. и опубликованным в работах (Шикломанов, 1979; 1989). Ниже приведены некоторые дополнительные пояснения к оценкам, которые выполнены для каждого водосбора за последующие годы и дан краткий анализ полученных результатов.

Для бассейна р. Волга расчеты производились на основе фактически поливаемых площадей с учетом особенностей их распределения по территории бассейна и принимая во внимание данные о резком снижении удельного водопотребления на орошение в 1990-е гг. (Костин и др., 1992; Демин, 2005; 2007).

Оценка безвозвратного водопотребления на орошение в бассейне Дона выполнена с учетом данных о площадях орошаемых и поливаемых земель и обобщенных сведений об удельных затратах воды на орошение, приведенных в работе (Шикломанов, 1974), полученных на основе использования данных сетевых гидрометеорологических наблюдений и приближенных воднобалансовых расчетов.

Затраты стока на орошение в бассейне Кубани рассчитывались с использованием сведений о площадях орошаемых земель и отдельно посевов риса, режим орошения которых существенным образом отличается от поливов других культур. В связи с этим для оценки водопотребления и водоотведения с рисовых оросительных систем использовались результаты воднобалансовых исследований ГГИ, выполненных в бассейне Кубани в течение 1980–1990 гг. По этим данным фактическая водоподача на посевы риса в среднем составила 16,5 тыс. м³ на га,

а сбросы с них достигали 47% от водозабора. По данным ПИИ «Кубаньводпроект», средняя водоподача на нерисовые оросительные системы может быть принята в объеме 3500 м³/га при величине сбросов с последних примерно 20% от водоподачи.

Как уже указывалось выше, часть кубанских вод перебрасывается для использования в соседние бассейны. В разные годы объем переброски составлял от 25 до 40% суммарного объема водозабора. Что касается непосредственно водопотребления на орошение, то длительное время на долю посевов риса приходилось не менее 50% его суммарного объема. В современных условиях эта величина снизилась до 40%. При максимальных размерах посевов риса удельное водопотребление на орошение в среднем для бассейна Кубани достигало 5900 м³/га, в настоящее время оно уменьшилось до 4500 м³/га.

Расчеты безвозвратного водопотребления на орошение в бассейнах Терека и Сулака основывались на результатах исследований, приведенных в монографии (Шикломанов, 1979). Выполненные в ней количественные оценки были получены на основании использования данных многолетних гидрометрических наблюдений по 18 створам на главной реке и ее притоках, сведений о площадях орошаемых земель с 1914 г., материалах специальных экспедиционных работ ГГИ в дельте Терека на всех водотоках, сбрасывающих речные и коллекторно-дренажные воды в Каспийское море. Используя эти данные, а также современные сведения о динамике орошения в бассейнах, о состоянии оросительных систем и величинах поливных норм (см., в частности, Демин, 2007), были получены приближенные объемы безвозвратного водопотребления в бассейнах Терека и Сулака, которые приведены в табл. 9.3.

Данные, приведенные в табл. 9.3, показывают, что максимальные величины безвозвратного водо-

Таблица 9.3

Динамика безвозвратного водопотребления на орошение и сельхозводоснабжение в бассейнах российских рек (км³/год)

Бассейны рек	Годы									
	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Волга	1,0	1,2	1,6	4,1	5,1	6,2	3,7	3,1	1,8	1,7
Дон	0,44	0,59	1,13	3,04	3,84	4,43	4,45	3,53	2,84	1,0
Кубань	0,33	0,62	1,03	1,7	2,47	1,94	1,96	1,67	1,71	1,5
Терек + Сулак	1,9	2,1	2,8	3,4	3,7	3,7	3,4	2,4	2,6	2,8

потребления на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение во всех рассматриваемых бассейнах относятся к 1980-м гг., что и понятно, поскольку в эти годы были наибольшие площади регулярного орошения и объем водозаборов на нужды сельского хозяйства. Обращает на себя внимание очень резкое уменьшение безвозвратного водопотребления за последние 20 лет в бассейне р. Волга (в 3,5 раза), в то время как орошаемые площади уменьшились в 1,6 раза. Это объясняется, как уже указывалось выше, чрезмерно интенсивным сокращением фактически поливаемых земель в бассейнах, которое сопровождалось и резким уменьшением (более чем в 2 раза) поливных норм. Отметим также, что за период с 1990 по 2003 г. расход воды в бассейне Волги на сельскохозяйственное водоснабжение уменьшился с 1,3 км³/год до 0,28 км³/год (Демин, 2007). В других бассейнах уменьшение безвозвратного водопотребления на нужды сельского хозяйства за последние 20–25 лет не столь значительны и находятся в пределах от 1,7 раз (Дон) до 1,2 раз (Терек и Сулак). В бассейнах Терека и Сулака в последние десять лет даже намечается некоторая тенденция роста орошаемых площадей и, соответственно, увеличения полного и безвозвратного водопотребления на орошение.

В сельском хозяйстве, помимо орошения, вода расходуется на хозяйственно-бытовые нужды сельского населения, потребляется домашними животными, затрачивается на полив огородов и благоустройство сельских населенных пунктов. Потребление воды на сельскохозяйственное водоснабжение зависит в основном от численности населения и животных, наличия систем водопроводов и канализации, от климатических условий и изменяется обычно от 200–270 до 20–30 л/сут на человека.

Проблема обеспечения высококачественной питьевой водой населения сельских районов и животноводства играет важную роль в жизни многих регионов и стран, особенно расположенных в аридных и субаридных зонах, однако в количественном отношении, применительно к водным ресурсам больших речных систем, общие затраты воды на сельскохозяйственное водоснабжение невелики по сравнению с водопотреблением на орошение и чаще всего учитываются вместе с ним.

Например, для территории бывшего СССР в 1980–1985 гг. водоснабжение всего сельского населения и животноводства составляло примерно 7% суммарного и 5% безвозвратного водопотребления на орошение. При этом в перспективных

оценках предполагалось, что при интенсивном развитии орошения доля сельскохозяйственного водоснабжения в общем водопотреблении сельским хозяйством станет еще меньше. Например, в Китае, при его огромном сельском населении, на уровень 1993 г. сельскохозяйственное водоснабжение составляло всего 5,4% от общего водопотребления сельским хозяйством; в Индии и в большинстве других стран Азии эти величины также незначительны по сравнению с затратами воды на орошение и учитываются вместе с ними (FAO, 1999).

Анализ многочисленных статистических данных по водопотреблению, развитию мелиорации земель и народного хозяйства РФ, начиная с 1960-х гг., различных обобщающих публикаций позволил выявить динамику величин сельскохозяйственного водоснабжения в России за многолетний период. Заметим при этом, что, начиная с 1999 г., российские статистические ежегодники приводят данные по орошению совместно с сельхозводоснабжением.

За 1960–1965 гг. объем водопотребления на сельскохозяйственное водоснабжение составлял 1,2–1,3 км³ в год, за период с 1985 по 1992 г. этот объем достигал максимальных величин — около 4,0 км³/год, затем началось интенсивное сокращение водопотребления, и к 2005 г. оно составило всего 1,2 км³/год. Столь значительное сокращение обусловлено главным образом резким уменьшением поголовья скота в общественном секторе, сокращением численности сельского населения, а также переводом значительной части сельскохозяйственных водопроводов в систему жилищно-коммунального хозяйства. В 1985–1992 гг. удельное водопотребление на одного сельского жителя составляло примерно 270 л/сут, в настоящее время эта величина уменьшилась до 90–100 л/сут. Приблизленную оценку объема затрат воды на нужды водоснабжения в сельском хозяйстве для того или иного бассейна или региона обычно производят по средней величине удельного водопотребления (в литрах за сутки на человека) и численности сельского населения. При этом принимается, что изменение численности населения пропорционально численности животных. Безвозвратные потери, определяемые в процентах от водозабора, здесь, как и в коммунальном водопотреблении, зависят прежде всего от объема водозабора и климатических условий. При водопотреблении в 100–200 л/сут на человека безвозвратные потери воды обычно не превышают 15–30% от водозабора, в то время как при малых водозаборах (20–50 л/сут) они могут составить 70–100%.

Во всех исследованиях, выполненных в ГГИ по оценке динамики безвозвратного водопотребления по крупным речным бассейнам, природно-экономическим регионам и странам мира, величины сельскохозяйственного водоснабжения не выделяются отдельно, а учитываются совместно с водопотреблением на орошаемое земледелие.

9.3. ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

9.3.1. Общие сведения

Водоохранилища являются основополагающими природно-техногенными элементами гидротехнических и водохозяйственных систем любого уровня. Они дают возможность регулировать водные ресурсы рек и озер в необходимом для устойчивого развития экономики и населения объеме. В связи с этим создание водохранилищ получило широкое распространение как в России, так и за рубежом. В России и большинстве стран Западной Европы к водохранилищам относят водоемы емкостью более 1 млн м³ (Авакян и др., 1987, Справочник водохранилищ, 1988–1989).

Первые водохранилища на Земле появились в III тыс. до н. э. (Авакян и др., 1987), а история создания водохранилищ в нашей стране началась в XVIII в. (см. табл. 9.4).

Практически все водохранилища, построенные в первой трети XVIII в., предназначались для водоснабжения промышленных предприятий, которые начали бурно развиваться в период правления Петра I на Урале и в окрестностях Санкт-Петербурга. Так, например, Охтинское водохранилище было создано для водоснабжения Охтинского порохового завода, Сестрорецкое — для нужд Сестрорецкого оружейного завода. Исключение составляет Вышневолоцкое водохранилище, построенное для обводнения в маловодье рек Мста и Тверца на сооруженном в начале XVIII в. водном пути, соединяющем Волгу и Санкт-Петербург. В дальнейшем старейшие водохранилища неоднократно подвергались реконструкции. Следует отметить, что для большого числа водохранилищ объемом от 1 до 10 млн м³ (24%) годы введения в

строй неизвестны, нет сведений и о 15% водохранилищ площадью более 10 млн м³. На рис. 9.10–9.12 показана динамика создания водохранилищ в России.

К началу XX в. в России было уже 46 водохранилищ (см. рис. 9.10) объемом более 1 млн м³, причем около половины водохранилищ (с известной датой ввода в строй) находилось в пределах промышленного Урала. До 1920 г. водный фонд страны пополнился еще 20 водохранилищами, при этом 7 наиболее крупных (см. рис. 9.10–9.11) появились на юге ЕТР.

После принятия плана ГОЭЛРО работы по созданию водохранилищ интенсифицировались. В 1921–1940 гг. были введены в строй еще 73 водохранилища, из них такие крупнейшие, как Ивановское, Волховское и Пролетарское, Волдозерское и Выгозерское. К началу Великой Отечественной



Рис. 9.10. Динамика ввода в строй водохранилищ объемом от 1 до 10 млн м³

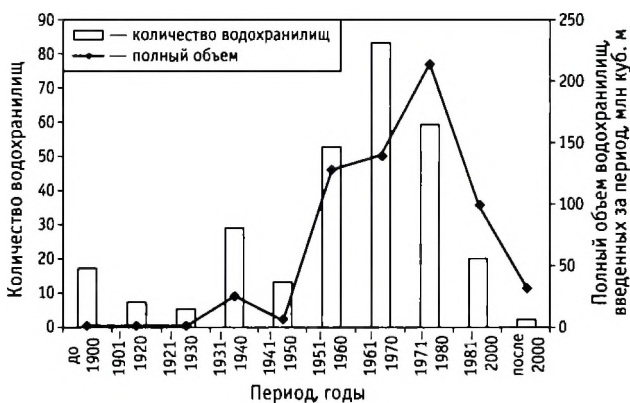


Рис. 9.11. Динамика ввода в строй водохранилищ объемом более 10 млн м³

Первые водохранилища России

Водохранилище	Год ввода	Река	Площадь зеркала при НПУ*, км ²	Объем водохранилища*, млн м ³	
				Полный	Полезный
Алапаевское	1704**	Нейва (бас. Оби)	2,4	7,4	5,1
Охтинское	1716	Охта (бас. Невы)	1,12***	3,1***	—
Вышневолоцкое	1719**	Шлина (бас. Волги)	109	322,5	242,21
Нижне-Выйское	1722	Вья (бас. Оби)	1,61	4,03	0,98
Ижорское	1722	Ижора (бас. Невы)	0,945	1,77	1,45
Сестрорецкое	1723	Сестра (бас. Финского залива)	10,6***	20***	9,5
Полевское	1724	Полевая (бас. Волги)	2,6	8,35	6,25
Северское	1727	Северушка (бас. Волги)	3	8,01	6,76
Староуткинское	1727	Утка (бас. Волги)	5,1	19	15,3

Примечания. * Морфометрические характеристики водохранилищ приведены по данным (Справочник по водохранилищам СССР, 1988–1989). ** По данным (Эдельштейн, 1998). *** Данные получены в результате промерных работ ГУ «ГГИ» в 2003 г.

войны полный объем водохранилищ страны составил 17,1 км³.

В последующие 20 лет, несмотря на войну и послевоенное восстановление хозяйства страны, количество водохранилищ почти удвоилось. При этом были заполнены такие важнейшие водохранилища Волжско-Камского каскада, как Угличское, Рыбинское, Горьковское, Куйбышевское, Волгоградское и Камское. Сооружены плотины вблизи истоков рек, вытекающих из оз. Онежское и Байкал, а также завершено заполнение крупнейшего водохранилища юга России — Цимлянского. Полный объем водохранилищ составил более 160 км³. На этот же период приходится и наибольший прирост затопленных водохранилищами площадей — около 17 300 км² (см. рис. 9.12), что свя-

зано с созданием преимущественно равнинных водохранилищ.

Максимальное развитие строительства гидроузлов на реках страны приходится на период с 1961 по 1980 г., когда дополнительно сформировалось около 42% фонда водохранилищ объемом более 10 млн м³ и 50% фонда водохранилищ объемом от 1 до 10 млн м³. Аналогичная ситуация наблюдалась и в других странах мира (Авакян и др., 1987, Эдельштейн, 1998). За этот период были введены такие крупнейшие водохранилища России, как Братское, Красноярское, Вилюйское, Краснодарское, завершён каскад водохранилищ на Волге и Каме. На это же время приходится и максимальное увеличение полного объема воды, аккумулированной как в малых, так и больших водохранилищах (см. рис. 9.10–9.11).

В последние 20 лет XX в. (особенно после распада СССР) темпы создания водохранилищ значительно сократились. Многие начатые стройки крупнейших ГЭС были «заморожены», например Курейской, Нижнекурейской, Богучанской, Бурейской и Вилюйской-3 на реках азиатской территории России. В результате за этот период водный фонд водохранилищ пополнился только на 22% для водохранилищ объемом более 10 млн м³ и на 17,5% для малых водохранилищ.

В последние годы строительство водохранилищ этих ГЭС возобновилось, кроме них строятся Ирганайская, Миатлинская, Зарамагская и Гунибская ГЭС на Северном Кавказе, Юмагузинское водохранилище в Башкортостане, каскады Толмачевских ГЭС на Камчатке и Териберских ГЭС в бассейне Баренцева моря, а также ряд других объектов. В 2002 г. введено в строй Курейское водохранилище. В 2003 г. запущен 1 агрегат Бурейской ГЭС, а в

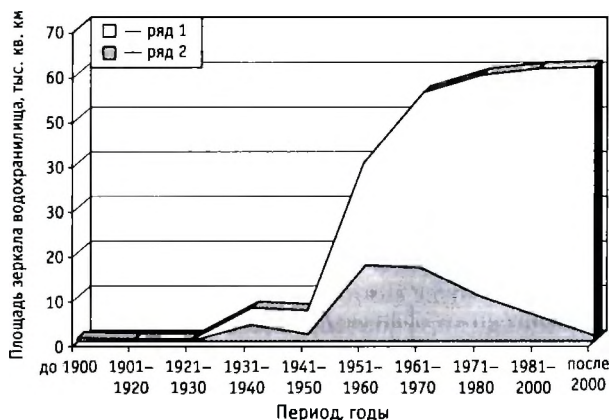


Рис. 9.12. Изменение суммарной площади зеркала водохранилищ России объемом более 10 млн м³:

1 — площадь зеркала водохранилищ, введенных за конкретный период; 2 — площадь зеркала водохранилищ нарастающим итогом

2008 г. ожидается запуск всех ее 6 агрегатов. В 2010 г. планируется заполнение Богучанского водохранилища. Вместе с тем увеличилось количество неучтенных водохранилищ, которые были построены без проектов — хозяйственным способом, дата их создания зачастую неизвестна. Это обстоятельство особенно касается рыбопродуктивных водоемов южных районов страны, учет таких водоемов в настоящее время начал проводиться Министерством природных ресурсов России (Российский Реестр... 2006).

По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, к настоящему времени на территории России создано 29,3 тыс. техногенных водоемов, в том числе водохранилищ емкостью от 1 до 10 млн м³ — 1937 и емкостью более 10 млн м³ — 363 (Троицкий, 2003). Суммарная площадь зеркала водохранилищ страны (Справочниках водохранилищ СССР, 1988–1989 гг.), с учетом пропущенного в этом издании Нижнекамского водохранилища, а также введенных в строй Бурейского и Курейского водохранилищ составляет примерно 62 400 км². Суммарный полный объем действующих водохранилищ — около 790 км³. При этом не учтен объем воды, сосредоточенной в подпертых оз. Байкал, Онежское и Ильмень. Объем воды в Чебоксарском, Нижнекамском и Краснодарском водохранилищах принят для современных (более низких, чем проектные) отметок уровня воды. Полезный объем водохранилищ страны составляет примерно 324 км³. Распределение водных ресурсов водохранилищ по федеральным округам приведено в табл. 9.5.

Наибольший объем воды, 47,9%, сосредоточен в крупнейших водохранилищах Сибири, 14,9% и 14,4% соответственно — в водохранилищах Дальневосточного и Приволжского федеральных округов.

Таблица 9.5

Водные ресурсы водохранилищ по федеральным округам (площадь в км², объем в км³ и % от их суммарной величины по стране)

Федеральный округ	Площадь зеркала		Полный объем		Полезный объем	
	км ²	%	км ³	%	км ³	%
Центральный	2430	3,9	34,8	4,4	23	7,1
Северо-Западный	13 290	21,3	71,1	9	32,1	9,9
Южный	9240	14,8	69,5	8,8	27,5	8,5
Приволжский	15 725	25,2	113,8	14,4	59,6	18,4
Уральский	1185	1,9	4,7	0,6	3,2	1
Сибирский	14 480	23,2	378,4	47,9	120,6	37,2
Дальневосточный	6050	9,7	117,7	14,9	58	17,9
Итого	62 400	100	790	100	324	100

Наименьшие водные ресурсы техногенных водоемов (менее 1%) находятся в пределах Уральского федерального округа, в котором преобладают малые и средние водохранилища.

Распределение водных ресурсов водохранилищ по бассейнам крупнейших рек России приведено в табл. 9.6. В настоящее время наибольший объем воды сосредоточен в водохранилищах, находящихся в бассейне р. Енисей — 368,2 км³, при этом их полезный объем составляет 135,1 км³. Площадь зеркала водохранилищ в бассейне Волги составляет 28 800 км², или около 2% от площади ее водосбора.

Таблица 9.6

Водные ресурсы водохранилищ по бассейнам крупнейших рек России

Бассейн реки	Площадь зеркала, км ²	Объем, км ³	
		полный	полезный
Нева	2082	7,88	3,73
Волга	28 800	193,9	92,0
Дон	4634	30,0	14,6
Кубань	664	5,08	3,28
Обь	2182	12,8	7,31
Енисей	12 750	368,2	135,1
Лена	2213	36,2	18
Кольма	443	14,4	6,56
Амур	2900	89,5	42,9

В соответствии с принятым в 2007 г. «Водным кодексом РФ», ст. 26, установлен перечень из 70 водохранилищ, находящихся в федеральной собственности. Использование их водных ресурсов осуществляется для обеспечения водными ресурсами двух и более субъектов Российской Федерации. Основные характеристики этих водохранилищ приведены в табл. 9.7.

Как следует из данной таблицы, к разряду федеральной собственности принадлежит водохранилища от самых малых с объемом менее 10 млн м³ (Рублевское водохранилище на р. Москва) до крупнейшего руслового водохранилища мира — Братского, объемом 169,3 км³. Суммарный полный объем этих водохранилищ составляет около 759 км³ с учетом полного объема строящегося Богучанского водохранилища, современного объема воды Чебоксарского, Нижне-Камского и Краснодарского водохранилищ при пониженных горизонтах заполнения (запасы воды в подпертых оз. Байкал, Онежское и Ильмень в таблице не учтены). Полезный объем этих водохранилищ равен ~ 295 км³, а площадь зе-

Сведения о водных ресурсах водохранилищ, находящихся в федеральной собственности

№ п/п	Название водохранилища	Река, принадлежность бассейну	Объем, млн м ³		Площадь зеркала, км ²	Основные виды использования
			полный	полезный		
1	Рублевское	р. Москва (бас. Волги)	5	4,6	3,06	ВЭ
2	Курское	р. Кура	11,4	8,4	5,5	ОВ
3	Икшинское	р. Икша (бас. Волги)	15	8,1	5,1	ВР
4	Пяловское	р. Уга (бас. Волги)	18	9,1	6,3	ВРе
5	Правдинское (ГЭС-3)	р. Лава	21	14	4,18	ЭР
6	Верхне-Рузское	р. Руза (бас. Волги)	22	21	9,4	В
7	Светогорское	р. Вуокса	28,75	9,5	3,18	ЭВРе
8	Химкинское	р. Химка (бас. Волги)	29,5	6,76	3,5	ВЗРе
9	Янискоски	оз. Инари, р. Паз	30	4	5	ЭВ
10	Лесогорское	р. Вуокса	35,43	5,55	3,2	ЭРе
11	Волховское	р. Волхов	37	35,2	2,3	ЭВРеВт
12	Михайловское	р. Свапа, бас. Днепра	41,1	36,76	14,01	ВОРе
13	Иремельское	р. Верхний Иремель (бас. Оби)	43,1	40,6	6,6	В
14	Раякоски	р. Паз	51	8,1	8	ЭВ
15	Пестовское	р. Вязь (бас. Волги)	54,3	20,2	11,6	ВРе
16	Шлинское	р. Шлина, оз. Шлинское (бас. Волги)	68	58	35	В
17	Пронское	р. Проня (бас. Волги)	71,5	66,3	16,2	ВОРе
18	Белгородское	р. Северский Донец	76	—	23	РеВ
19	Клязьминское	р. Клязьма (бас. Волги)	87	27,08	16,2	ВЗРе
20	Егорлыкское	р. Б. Егорлык (бас. Дона)	109,5	30,3	16	ЭОВРе
21	Майнское	р. Енисей	116	70,9	11,5	Э
22	Ново-Троицкое	р. Б. Егорлык (бас. Дона)	132	62	18	ЭОВРе
23	Озернинское	р. Озерна (бас. Волги)	143,8	140	23,1	ВЗРе
24	Учинское (Акуловское)	р. Уча (бас. Волги)	146,1	50,2	19,3	ВЭ
25	Шапсугское ¹	р. Афипис (бас. Кубани)	150	130	45,7	ОРРе
26	Нязепетровское	р. Уфа (бас. Волги)	153	138	19,5	В
27	Истринское	р. Истра (бас. Волги)	183	173,5	33,6	ВРе
28	Старооскольское	р. Оскол, бас. Дона	203	184	40,9	ВО
29	Рузское	р. Руза (бас. Волги)	219,8	215,7	32,7	ВЭ
30	Можайское	р. Москва (бас. Волги)	235	221,4	31	ВЗРе
31	Вельевское	оз. Велье, р. Либье (бас. Волги)	237,8	166,6	52,7	В
32	Яузское	р. Яуза (бас. Волги)	290,3	130	51	В
33	Вышневолоцкое	р. Шлина (бас. Волги)	322,5	242,21	109	ЭВтР
34	Борисоглебское	р. Паз	330	27,3	56	ЭВ
35	Нарвское	р. Нарва	365	91	191,4	ЭВ
36	Верхневолжское	оз. Стерж (бас. Волги)	524	466	183	ВР
37	Вазузское	р. Вазуза (бас. Волги)	539	428	106	В
38	Кубанское (Большое)	р. Кубань	620	500	50,2	перераспределение стока
39	Верхне-Свирское	р. Свирь	710	544	228,7	ЭВтРВ
40	Чограйское	р. Вост. Маныч	720	670	193	ОВРеР
41	Сенгелеевское	р. Кубань, р. Егорлык	805	793	42,1	ОВ
42	Иваньковское	р. Волга	1120	813	327	ВВтЗР
43	Угличское	р. Волга	1245	809	249	ЭВтРРе
44	Краснодарское ²	р. Кубань	1798	1606	400	ЭВтЛВ

Окончание табл. 9.7

№ п/п	Название водохранилища	Река, принадлежность бассейну	Объем, млн м ³		Площадь зеркала, км ²	Основные виды использования
			полный	полезный		
45	Пролетарское	р. Зап. Маныч, оз. Маныч-Гудило	2031	756	798	ОРВ
46	Иовское	р. Иова, оз. Сушозеро	2060	545	294	ЭЛ
47	Иркутское ³	р. Ангара	2103	450	154	ЭВтРРе
48	Нижнекамское ⁴	р. Кама (бас. Волги)	2900	—	1000	ЭВтРРе
49	Ириклинское	р. Урал	3260	2760	260	ВЭ
50	Князегубское	р. Ковда, оз. Ковдозеро	3438	1928	610	ЭЛР
51	Чебоксарское ⁴	р. Волга	4600	—	1080	ЭВРВт
52	Кайтакоски	р. Паз, оз. Инари	4955	2455	1100	Э
53	Новосибирское	р. Обь	8800	4400	1070	ЭВтОВ
54	Горьковское	р. Волга	8815	2782	1591	ЭВОРРе
55	Воткинское	р. Кама (бас. Волги)	9360	3700	1120	ЭВтВО
56	Камское	р. Кама (бас. Волги)	12 205	9235	1915	ЭВтВО
57	Саратовское	р. Волга	12 870	1750	1831	ЭВтВОРРе
58	Колымское	р. Колыма	14 400	6560	443	Э
59	Бурейское	р. Буряя	20 940	10 700	740	ЭН
60	Цимлянское	р. Дон	23 860	11 540	2702	РеЭРВВт
61	Рыбинское	р. Волга	25 420	16 670	4550	ЭВтВРН
62	Саяно-Шушенское	р. Енисей	31 340	15 300	621	ЭВТВН
63	Волгоградское	р. Волга	31 450	8250	3117	ЭВРВтЛРе
64	Вилуйское	р. Вилуй	35 880	17 830	2176	Э
65	Куйбышевское	р. Волга	58 000	34 600	6448	ЭВтВОРРе
66	Богучанское ⁵	р. Ангара	58 200	20 300	2325	ЭВтЛ
67	Усть-Илимское	р. Ангара	58 930	2740	1922	ЭВтВО
68	Зейское	р. Зeya–Амур	68 420	32 120	2119	ЭНВт
69	Красноярское	р. Енисей	73 293	30 428	2000	ЭВтЛВ
70	Братское	р. Ангара	169 300	48 200	5478	ЭВтРВОРе
Итого			759 000	295 100	50 200	

Примечания. Э — энергетика, В — водоснабжение, Р — рыбное хозяйство, Л — лесослав, Ре — рекреация, Вт — водный транспорт, О — орошение, Н — защита от наводнений; 1 — водохранилище реконструируется; 2 — отметка НПУ понижена, характеристики приведены по данным промеров 2005 г.; 3 — данные без оз. Байкал; 4 — водохранилища работают при пониженных (по сравнению с проектными) отметках уровня воды, характеристики приведены для современных отметок; 5 — водохранилище строится.

мель, занятых водохранилищами, равна примерно 50 180 км².

Основная доля водных ресурсов водохранилищ из списка (табл. 9.7) — 60% полного объема водохранилищ — сосредоточено в бассейнах р. Волга и Ангара. При этом наибольшее количество федеральных водохранилищ (31) находится в бассейне р. Волга, их полный объем составляет 22%, полезный — 28%, а площадь зеркала — 47% от суммарных показателей для водохранилищ федерального списка. Наибольшая доля суммарного полного объема водохранилищ (38%) сосредоточена в четырех ангарских водохранилищах (включая Богучанское вдхр.), при этом их полезный объем равен только 24%, а площадь зеркала — 20% от общих показателей.

Водоохранилища по территории России распределены крайне неравномерно (см. рис. 9.13 и 9.14).

Как следует из рис. 9.13 и 9.14, большинство водохранилищ России находятся на ЕТР. При этом, если основная масса (81%) небольших водохранилищ сосредоточена в Центральном, Приволжском и Южном федеральных округах, 17% — в Уральском, Сибирском и Дальневосточном и только 1% — в Северо-Западном ФО, то для крупных водохранилищ соотношение иное: 54% — в Центральном, Приволжском и Южном округах, 26% — на территории Урала, Сибири и Дальнего Востока, 20% — в Северо-Западном ФО.

Распределение водохранилищ различных типов, видов регулирования и назначения по территории

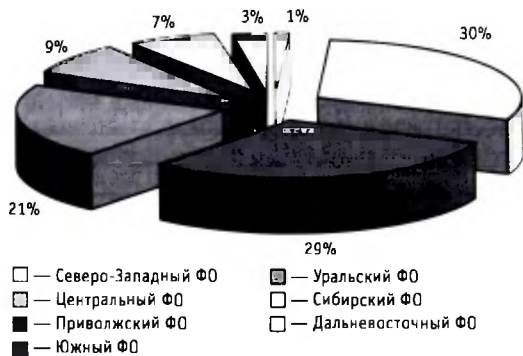


Рис. 9.13. Распределение по федеральным округам (ФО) водохранилищ объемом от 1 до 10 млн м³

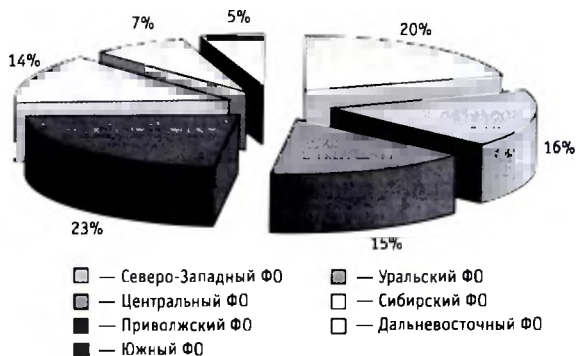


Рис. 9.14. Распределение водохранилищ объемом более 10 млн м³ по федеральным округам (ФО)

страны зависит, прежде всего, от природных особенностей, плотности населения и требований экологии регионов.

Деление водохранилищ на различные типы основано на их генезисе, указывающем способ образования водоема. Русловые водохранилища образуются в долинах рек, перегороденных плотинами, в том числе и на временных водотоках. Озерные водохранилища — это зарегулированные озера в истоках рек, на которых возведены гидроузлы. Наливные водохранилища созданы в естественных депрессиях, в которые по каналам подаются преимущественно паводковые и половодные воды расположенных неподалеку рек. Кроме того, различают смешанные типы водохранилищ, например русловые и озерные с подпиткой, озерно-русловые и др. Преобладающим типом водохранилищ России, как и во всем мире, являются русловые, которые составляют 86,4% от общего их количества в стране. Соотношение водохранилищ различных типов для федеральных округов приведено на рис. 9.15, из которого следует, что водохранилища руслового типа преобладают на территории всех ФО.

В Южном ФО наряду с русловыми водохранилищами, которые составляют 61,4%, значительную долю (36,9%) занимают наливные водоемы. В Северо-Западном ФО (с высоким процентом озерности территории) имеется более 10% озерных водохранилищ.

По характеру регулирования стока различают водохранилища многолетнего, сезонного (годового), месячного, недельного и суточного регулирования. Многолетнее регулирование осуществляется для аккумуляции стока многоводных лет и его дальнейшего использования в маловодные годы; сезонное — для задержки стока многоводных пе-

риодов и его использования в маловодные сезоны года. Месячное, недельное и суточное регулирование стока характерно практически для всех водохранилищ гидроэлектростанций.

На территории Российской Федерации преобладают водохранилища с сезонным регулированием стока, 70,5% от общего количества водоемов. Распределение водоемов с различными видами регулирования по федеральным округам представлено в табл. 9.8.

Доля водоемов с сезонным регулированием выше средней по стране в Центральном, Сибирском, Дальневосточном и Приволжском ФО, водохранилища которых имеют в основном комплексное назначение. Для Северо-Западного ФО большую роль, наряду с водохранилищами сезонного (43,6%), играют водохранилища суточного и не-

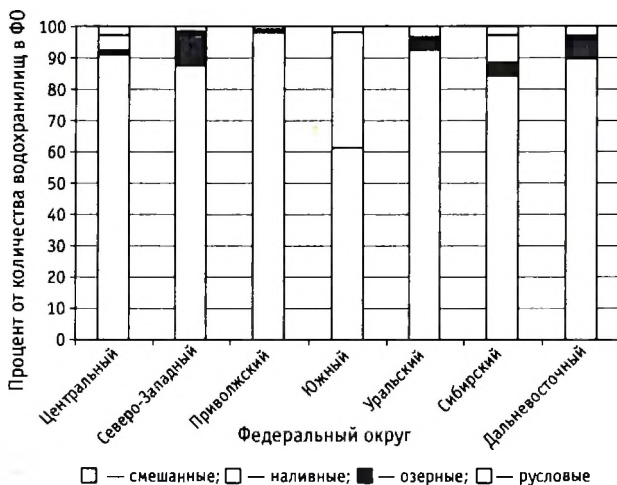


Рис. 9.15. Распределение водохранилищ различных типов по федеральным округам (ФО)

Таблица 9.9

Использование водных ресурсов водохранилищ России объемом более 10 млн м³

Федеральный округ	Комплексное использование	Использование для отдельных отраслей	Структура использования (основные виды использования в порядке убывания значимости)
	% от количества водохранилищ в ФО		
Центральный	86	14	ВРеЭРО
Северо-Западный	65	35	ЭВРЛРеВт
Приволжский	81	19	ВЭРеРВтО
Южный	90	10	ВОРЭРе
Уральский	51	49	ВРеРЭ
Сибирский	73	27	ЭВРВтР
Дальневосточный	18	82	ВНЭРе

Примечание. Э — энергетика, В — водоснабжение, Р — рыбное хозяйство, Л — лесосплав, Ре — рекреация, Вт — водный транспорт, О — орошение, Н — защита от наводнений

дельного регулирования (41% от общего количества), что связано с распространением в регионе водоемов энергетического назначения. Сравнительно высока доля водохранилищ многолетнего регулирования в Уральском и Южном ФО, где водоемы широко используются для водоснабжения.

Большинство водохранилищ России имеют комплексное назначение. Основные виды использования их водных ресурсов: энергетика, водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация, водный транспорт, орошение, лесосплав, защита от наводнений. Равнинные водохранилища, особенно на Волге, Каме, Свири и других крупных реках, имеют большое значение для речного транспорта.

Таблица 9.8

Распределение водохранилищ ФО по преобладающим видам регулирования водных ресурсов

Федеральный округ	Многолетнее	Сезонное	Месячное, недельное, суточное
	% от количества водохранилищ в ФО		
Центральный	22,4	75,6	2
Северо-Западный	15,4	43,6	41
Южный	29,1	66,9	4
Приволжский	28,2	71,5	0,3
Уральский	33,5	65,9	0,6
Сибирский	24,5	74,2	1,3
Дальневосточный	27,4	72,6	—

Существенна роль как крупных, так и малых водохранилищ для рыбного хозяйства.

Ряд водохранилищ, в частности крупнейшие водохранилища Дальнего Востока — Зейское и Бурейское, созданы, прежде всего, для борьбы с наводнениями. В густонаселенных районах страны — Центральном, Приволжском, Южном и Уральском ФО водохранилища широко используются для рекреации. Водные ресурсы водохранилищ, находящихся в зоне недостаточного увлажнения, являются основой орошаемого земледелия. Есть водохранилища, предназначенные для лесосплава, которые, в основном, распространены на северо-западе страны. Структура использования водных ресурсов водохранилищ по федеральным округам приведена в табл. 9.9, а отдельных водохранилищ из федерального списка — в табл. 9.7.

При этом по экономическому потенциалу гидроэнергоресурсов (порядка 852 млрд кВт·ч.) Россия занимает второе место в мире, после Китая, однако по степени их освоения — 20% — уступает практически всем развитым странам и многим развиваю-

щимся государствам. Так, во Франции и Швейцарии этот показатель превышает 90%, в Канаде и Норвегии — 70%, США и Бразилии — 50% (Официальный Интернет-сайт РАО ЕС России).

9.3.2. Роль крупнейших водохранилищ в регулировании речного стока

Развитие гидротехнического строительства в нашей стране, которое сопровождалось сооружением крупнейших водохранилищ и каскадов ГЭС, привело к коренным изменениям естественного гидрологического режима большинства речных систем, сложившихся под влиянием природных условий.

Проблемы управления поверхностным стоком рек решаются при помощи создания и эксплуатации водохранилищ многолетнего, сезонного, недельного и суточного регулирования, обеспечивающих перераспределение водных ресурсов во времени. На крупных реках страны в основном созданы и эксплуатируются водохранилища многолетнего и сезонного регулирования стока.

Очевидно, что эффект регулирования тем больше, чем больше объем и размеры эксплуатируемого водохранилища. При каскадном расположении водохранилищ складывается особый режим регулирования стока: чем ниже расположено водохранилище в каскаде, тем больше на него влияние регулирующих емкостей вышележащих водохранилищ. В настоящее время крупнейшими водохра-

ниями зарегулирован сток основных рек: Волги, Камы, Дона, Кубани, Урала, Оби, Енисея, Ангары.

Степень преобразования речного стока в зависимости от типа водохранилища приведена в табл. 9.10. Для основных рек, зарегулированных крупными водохранилищами, в таблице приведены оценки среднего годового стока в различных створах ($\bar{Q}_{\text{ест}}$), суммы объемов полезной емкости всех водохранилищ до створа реки ($\sum W_{\text{плз}}$), а также средних годовых значений коэффициентов внутригодовой зарегулированности стока \bar{c} , предложенных Соколовским (Соколовский, 1952). Значения коэффициентов \bar{c} рассчитывались за периоды до и после начала нормальной эксплуатации водохранилищ — $\bar{c}_{\text{ест}}$ и $\bar{c}_{\text{рег}}$.

Отношение суммы объемов полезной емкости $\sum W_{\text{плз}}$ к среднему годовому стоку в створе реки $\bar{Q}_{\text{ест}}$ характеризует тип регулирования построенных в речном бассейне водохранилищ. В то же время коэффициент внутригодовой зарегулированности стока \bar{c} является универсальным показателем аккумулирующей способности водосбора, поэтому может служить также показателем внутригодовой неравномерности стока и при строительстве водохранилищ (Соколовский, 1952).

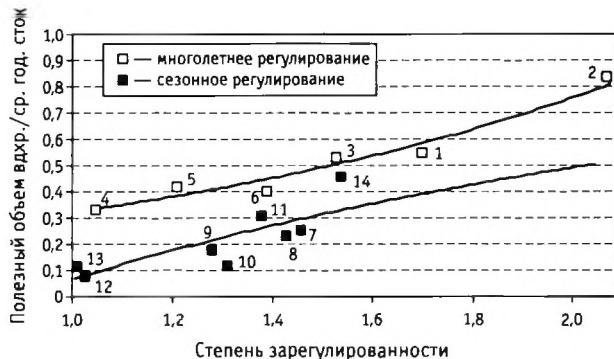


Рис. 9.16. Зависимость $\frac{\bar{c}_{\text{рег}}}{\bar{c}_{\text{ест}}} = f\left(\frac{\sum W_{\text{плз}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}\right)$ для основных речных бассейнов, зарегулированных водохранилищами (нумерация точек соответствует нумерации замыкающих створов в табл. 9.10)

По данным табл. 9.10 построена зависимость вида $\frac{\bar{c}_{\text{рег}}}{\bar{c}_{\text{ест}}} = f\left(\frac{\sum W_{\text{плз}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}\right)$, которая отражает влияние зарегулированности стока в речном бассейне $\frac{\bar{c}_{\text{рег}}}{\bar{c}_{\text{ест}}}$ от относительного показателя $\frac{\sum W_{\text{плз}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}$ (рис. 9.16).

Нумерация точек на графиках рис. 9.16 соответствуют нумерации створов в табл. 9.10.

Таблица 9.10

Влияние крупнейших водохранилищ на речной сток

№	Река — створ	$\bar{Q}_{\text{ест}}$, км ³	Название водохранилищ	Объем полезный, $\sum W_{\text{плз}}$, км ³	$\frac{\sum W_{\text{плз}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}$	$\bar{c}_{\text{рег}}$	$\bar{c}_{\text{ест}}$	$\frac{\bar{c}_{\text{рег}}}{\bar{c}_{\text{ест}}}$
Водохранилища многолетнего регулирования								
1	Дон — Раздорская	26,0	Цимлянское	11,5	0,44	0,90	0,50	1,70
2	Вилюй — Чернышевский	21,1	Вилюйское	17,8	0,84	0,91	0,44	2,07
3	Ангара — Братск	90,8	Братское	48,2	0,53	0,95	0,62	1,53
4	Енисей — Никитино	46,3	Саяно — Шушенское	15,3	0,33	0,64	0,61	1,05
5	Енисей — Базаиха	91,5	Саяно — Шушенское и Красноярское	45,8	0,42	0,75	0,62	1,21
6	Енисей — Енисейск	244	Саяно-Шушенское, Братское, Усть-Илимское и Красноярское	96,7	0,40	0,86	0,62	1,39
Водохранилища сезонного регулирования								
7	Волга — Н. Новгород	93,6	Горьковское	23,7	0,25	0,91	0,62	1,46
8	Волга — Вязовые	118	Горьковское и Чебоксарское	26,2	0,23	0,85	0,60	1,43
9	Кама — Пермь	52,7	Камское	9,24	0,18	0,83	0,65	1,28
10	Кама — устье	124	Камское и Воткинское	14,4	0,12	0,85	0,65	1,31
11	Волга — пол. им. Фрунзе	243	Горьковское, Чебоксарское, Камское, Воткинское и Куйбышевское	75,2	0,31	0,82	0,57	1,38
12	Кубань — Краснодар	13,8	Краснодарское	1,61	0,12	0,82	0,82	1,01
13	Обь — Новосибирск	54,9	Новосибирское	4,40	0,08	0,68	0,66	1,03
14	Ангара — Богучаны	111	Братское и Усть-Илимское	50,9	0,46	0,97	0,62	1,56

Как следует из рис. 9.16, характер зависимости $\frac{\bar{Q}_{\text{рег}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}} = f\left(\frac{\sum W_{\text{плз}}}{Q_{\text{ест}}}\right)$, различен для разных режимов регулирования стока и типов водохранилищ в бассейне рек. Так, для водосборов с водохранилищами многолетнего регулирования характерны более высокие значения относительных показателей $\frac{\sum W_{\text{плз}}}{Q_{\text{ест}}}$ и соответствующих им значений $\frac{\bar{Q}_{\text{рег}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}$, чем для водосборов с сезонным регулированием стока. Большой разброс точек характерен для водосборов с водохранилищами сезонного регулирования, т. к. для этого типа водохранилищ характерна большая неустойчивость внутригодового распределения стока. Следует особо отметить створ Ангара-Богучаны и соответствующую ему точку № 14 (рис. 9.16), которая оказалась между двух кривых многолетнего и сезонного регулирования, что, видимо, связано с расположенными выше по течению и различными по типу регулирования водохранилищами: Братское и Усть-Илимское.

Проблема изменений годового стока крупнейших рек России под влиянием водохранилищ изучена достаточно хорошо (Шикломанов, 1979 и др.; Вуглинский, 1991). Однако решающее влияние в регулировании речного стока водохранилищами проявляется, прежде всего, во внутригодовом распределении стока в замыкающем створе. Здесь роль водохранилищ заключается в устранении естественной неравномерности стока: увеличение объема стока в меженные периоды за счет уменьшения паводочного стока (Веретенникова, Лсонов, 1982; Шикломанов, 1989).

Исследование влияния крупнейших водохранилищ на внутригодовое и сезонное распределение речного стока имеет принципиальное значение для решения большинства водохозяйственных проблем.

Прежде всего следует отметить факт относительной устойчивости внутригодового и сезонного распределения стока крупного речного водосбора в естественных условиях, что объясняется устойчивостью за многолетний период внутригодового распределения метеорологических характеристик (осадков, температуры воздуха и др.) на больших территориях, а также воздействием аккумулирующей емкости водосбора (Андреянов, 1960). Сооружение крупных водохранилищ, которое осуществлялось в основном в период с 1955 по 1980 г., привело к постепенному изменению (выравниванию) внутригодового распределения стока.

С целью изучения этих изменений выполнен анализ многолетних рядов месячного стока для двух водохранилищ многолетнего регулирования: **Виллюйского** и **Цимлянского**.

Виллюйское водохранилище построено на р. Виллюй (приток Лены) в 1974 г. По морфометрическим и гидрологическим характеристикам относится к числу крупных водохранилищ многолетнего регулирования. Его объем составляет около 36 км^3 , а полезная емкость — 18 км^3 , что значительно меньше, чем средний годовой сток в створе ГЭС — $22,5 \text{ км}^3$. Регулирование стока осуществляется в основном в интересах гидроэнергетики (Справочник... 1988).

Цимлянское водохранилище построено в 1952 г. в бассейне реки Дон. Общий объем водохранилища составляет $23,8 \text{ км}^3$, полезный — $11,5 \text{ км}^3$. Относится к числу крупных водохранилищ многолетнего регулирования и контролирует 50% водных ресурсов бассейна Дона. Норма годового стока в устье составляет $28,9 \text{ км}^3$, а в створе Цимлянского гидроузла — $15,5 \text{ км}^3$. Регулирование стока осуществляется в интересах гидроэнергетики, орошения, судоходства и рыбного хозяйства (Справочник... 1988).

По данным табл. 9.10, показатель внутригодовой зарегулированности стока $\frac{\bar{Q}_{\text{рег}}}{\bar{Q}_{\text{ест}}}$ для Виллюйского водохранилища составляет 2,07, а для Цимлянского — 1,70. Эти показатели являются максимальными из всего ряда исследуемых водохранилищ, что свидетельствует о высокой степени зарегулированности стока в бассейнах этих рек.

Для Виллюйского и Цимлянского водохранилищ в табл. 9.11 и 9.12 приведены данные сезонного распределения стока, рассчитанные по сезонам: весна (IV–VII), лето — осень (VI–XI) и зима (XII–III) (% от годового и осредненного по пятилетиям) для двух характерных периодов: период условно-естественного стока (до создания водохранилища) и период нормальной эксплуатации водохранилища (после создания водохранилища).

Результаты расчета подтверждают относительную устойчивость внутригодового и сезонного распределения стока в естественных условиях: осредненный относительный сток для исследуемых водохранилищ варьирует в пределах 10%. Наибольшую долю во внутригодовом распределении стока имеют весенние месяцы: примерно 80% — для Виллюйского и 70% — для Цимлянского водохранилищ.

Как показали выполненные расчеты, устойчивость во внутригодовом распределении в период

Таблица 9.11

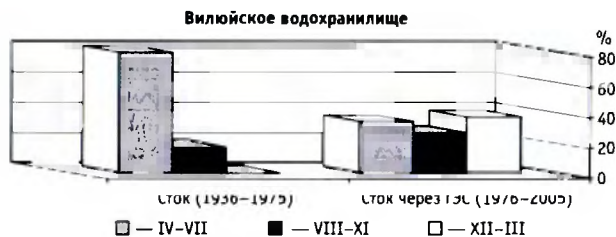


Рис. 9.17. Сравнение сезонного стока в створе Вилюйского гидроузла (в % от годового и осредненного по пятилетиям) до и после начала нормальной эксплуатации водохранилища

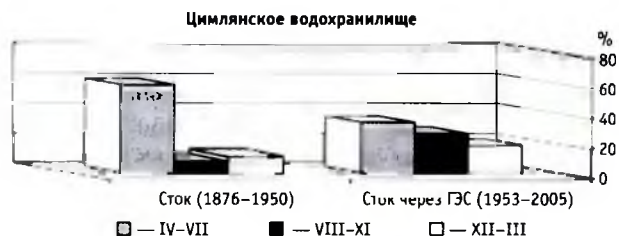


Рис. 9.18. Сравнение сезонного стока в створе Цимлянского гидроузла (в % от годового и осредненного по пятилетиям) до и после начала нормальной эксплуатации водохранилища

условно-естественного стока не зависит от водности года. Для пятилетий с высокой водностью ($K > 1$) и пятилетий с низкой и средней водностью ($K \leq 1$) характер внутригодового распределения стока остается практически неизменным.

Диаграммы сезонного распределения стока периодов условно-естественного стока и с начала нормальной эксплуатации водохранилища представлены на рис. 9.17 и 9.18.

Как показали выполненные расчеты, с началом нормальной эксплуатации водохранилищ наблюдается резкое изменение картины внутригодового (сезонного) распределения стока в створе гидроузлов (см. табл. 9.11, 9.12, рис. 9.17, 9.18).

Относительное сезонное распределение стока в створе Вилюйского гидроузла (в % от годового и осредненное по пятилетиям)

Период	Год. модульный коэффициент K	Сезонное распределение стока в % от годового		
		IV-VII	VIII-XI	XII-III
Относительные величины условно-естественного стока в створе Вилюйской ГЭС (1932-1975 гг.)				
1932-1935	1,37	74,6	24,9	0,5
1936-1940	0,97	82,2	17,3	0,5
1941-1945	0,77	81,9	17,5	0,6
1946-1950	0,88	85,9	13,7	0,4
1951-1955	0,91	83,0	16,5	0,5
1956-1960	1,07	83,0	16,6	0,4
1961-1965	1,13	80,4	19,3	0,3
1966-1970	0,90	82,4	17,3	0,3
1971-1975	1,09	86,6	13,1	0,3
Наибольший	1,37	86,6	24,9	0,6
Средний	1,01	82,2	17,4	0,4
Наименьший	0,77	74,6	13,1	0,3
Относительные величины стока в створе Вилюйской ГЭС за период нормальной эксплуатации водохранилища (1976-2005 гг.)				
1976-1980	0,95	41,8	25,2	33,0
1981-1985	0,86	29,5	27,8	42,7
1986-1990	0,97	37,6	27,1	35,3
1991-1995	0,95	35,0	26,0	39,0
1996-2000	1,13	34,7	28,0	37,3
2001-2005	1,05	33,9	26,5	39,6
Наибольший	1,13	41,8	28,0	42,7
Средний	0,99	35,4	26,8	37,8
Наименьший	0,86	29,5	25,2	33,0

В период нормальной эксплуатации водохранилищ (Вилюйское, 1976-2005 гг., Цимлянское, 1951-2005 гг.) относительная устойчивость во внутригодовом (сезонном) распределении стока также

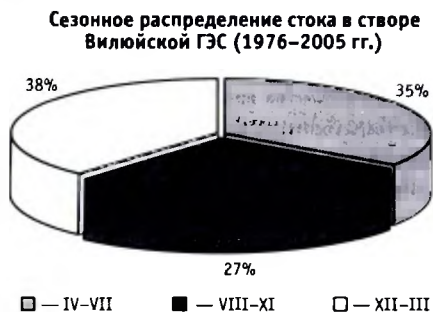


Рис. 9.19. Сезонное распределение стока (в % от годового) в створах Вилюйского и Цимлянского гидроузлов в условиях нарушенного гидрологического режима

Таблица 9.12

Относительное сезонное распределение стока в створе Цимлянского гидроузла (в % от годового и осредненное по пятилетиям)

Период	Год. модульный коэффициент <i>K</i>	Сезонное распределение стока в % от годового		
		IV–VII	VIII–XI	XII–III
Относительные величины условно-естественного стока в створе Цимлянской ГЭС (1876–1950 гг.)				
1876–1880	1,51	71,7	11,5	16,8
1881–1885	1,30	74,4	11,2	14,4
1886–1890	1,20	76,0	10,5	13,5
1891–1895	1,01	73,9	9,4	16,7
1896–1900	1,20	81,7	9,1	9,3
1901–1905	1,02	73,9	8,5	17,6
1906–1910	0,93	76,3	9,6	14,2
1911–1915	1,12	65,5	10,9	23,5
1916–1920	1,54	76,8	9,7	13,5
1921–1925	0,96	71,9	11,2	16,9
1926–1930	1,48	74,6	10,6	14,8
1931–1935	1,03	72,0	14,0	14,0
1936–1940	0,81	73,9	12,1	14,1
1941–1945	1,16	70,5	14,7	14,8
1946–1950	0,99	71,8	12,3	15,9
Наибольший	1,54	81,7	14,7	23,5
Средний	1,15	73,7	11,0	15,3
Наименьший	0,81	65,5	8,5	9,3
Относительные величины стока через Цимлянскую ГЭС за период нормальной эксплуатации водохранилища (1951–2005 гг.)				
1951–1955	0,98	37,6	32,4	29,9
1956–1960	1,28	37,4	34,9	27,7
1961–1965	1,21	48,1	35,2	16,7
1966–1970	0,95	47,3	36,3	16,4
1971–1975	0,68	46,4	36,2	17,4
1976–1980	1,02	48,7	32,4	18,9
1981–1985	0,92	38,1	32,8	29,1
1986–1990	0,80	36,2	38,9	24,9
1991–1995	1,07	48,6	28,2	23,2
1996–2000	0,90	37,3	35,2	27,5
2001–2005	1,12	42,4	32,8	24,8
Наибольший	1,28	48,7	38,9	29,9
Средний	0,99	42,6	34,1	23,3
Наименьший	0,68	36,2	28,2	16,4

сохраняется в пределах 10% и не зависит от водности года.

Таким образом, коренная перестройка внутригодового (сезонного) распределения стока после строительства гидроузлов на исследуемых водохранилищах связана с процессом регулирования реч-

ного стока. Так, с началом нормальной эксплуатации Вилюйского водохранилища доля стока весенних месяцев составляет в среднем 35%, летне-осенних — 27%, а зимних — 38%. Для Цимлянского водохранилища наблюдается примерно такое же распределение: сток весенних месяцев составляет в среднем 43%, летне-осенних — 34%, а зимних — 23% (рис. 9.19).

Оценка изменений стока и его внутригодового (сезонного) распределения под влиянием водохранилищ может осуществляться различными методами (Андреянов, 1960; Шикломанов, 1979, 1989 и др.). Подробный анализ этих методов см.: (Шикломанов, 1989).

Анализ изменений внутригодового и сезонного распределения стока под влиянием водохранилищ выполнен по методу характерных реальных лет (Веретенникова, Леонов, 1982). Расчет внутригодового распределения стока по характерным годам производился с помощью выбора реального года, наиболее близкого к заданной обеспеченности *P* (для многоводного года — 25%, для среднего по водности — 50%, для маловодного года — 75% и для очень маловодного года — 95%), и для трех основных сезонов: весна (IV–VII), лето — осень (VIII–XI), зима (XII–III) и в целом за лимитирующий период (VIII–III).

Сравнительный анализ изменений внутригодового и сезонного распределения объема стока выполнен помесечно (в км³) и по сезонам (в % от годового) для створа Вилюйской ГЭС: 1974–2005 гг., для створа Цимлянской ГЭС: 1954–2005 гг. Результаты расчетов приведены в табл. 9.13–9.14 и на рис. 9.20–9.21.

Гидрографы стока с заданной обеспеченностью *P* = 25%, 50%, 75% и 95% рассчитывались для следующих конкретных лет:

— в створе Вилюйской ГЭС: 2002, 1982, 1987 и 1992 гг., соответственно;

— в створе Цимлянской ГЭС: 2003, 2002, 1969 и 1973 гг. соответственно.

Резкое увеличение весеннего стока наблюдается только для лет с высокой водностью (25%): в створе Вилюйской ГЭС — в 2002 г., в створе Цимлянской ГЭС — в 2003 г. Для лет средней водности (50%), маловодных и очень маловодных лет (75% и 95%) гидрографы стока имеют сглаженный характер (см. рис. 9.20–9.21).

Регулирование речного стока крупнейшими водохранилищами коренным образом изменило характер внутригодового и сезонного распределения стока на водосборе крупных рек в соответствии с

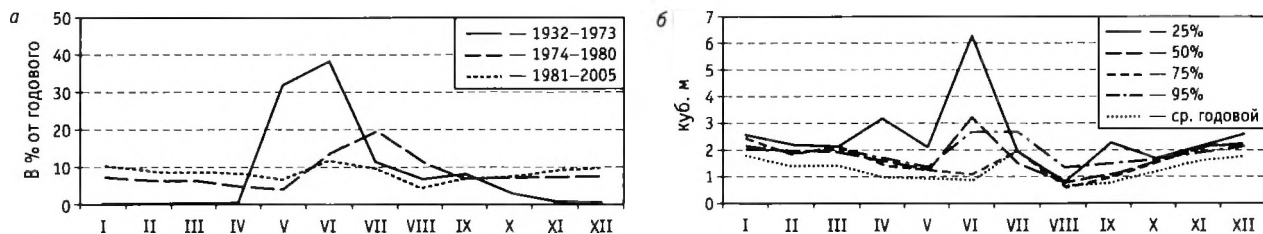


Рис. 9.20. Внутригодовое распределение стока в створе Вилюйского гидроузла, рассчитанное:

а — в % от среднего годового стока для 3 временных периодов: периода условно-естественного стока (1932–1975 гг.), периода «стационарного климата» (1976–1980 гг.) и периода (1981–2005 гг.); б — (в км³) для конкретных лет водности заданной обеспеченности P (25%, 50%, 75% и 95%), а также для года со средней водностью

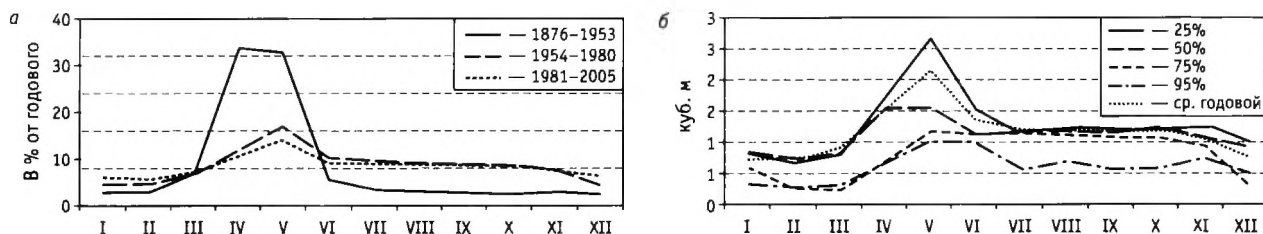


Рис. 9.21. Внутригодовое распределение стока в створе Цимлянского гидроузла, рассчитанное:

а — в % от среднего годового стока для трех временных периодов: периода условно-естественного стока (1876–1953 гг.), периода «стационарного климата» (1954–1980 гг.) и периода (1981–2005 гг.); б — (в км³) для конкретных лет водности заданной обеспеченности P (25%, 50%, 75% и 95%), а также для года со средней водностью

запросами отдельных водопользователей. Измененный гидрологический режим, как правило, обострил экологические проблемы поймы, устьевых участков притоков и, как следствие, ухудшил санитарное состояние бассейна во время летней межени. С другой стороны, относительное увеличение стока во время осенне-зимнего периода улучшает экологическую обстановку на водосборе.

В заключение важно отметить, что изучение влияния крупнейших водохранилищ в регулировании речного стока имеет важное практическое значение для решения различных водохозяйственных задач.

Так, управление водным режимом водохранилища и его эксплуатация осуществляются в соответствии с «Правилами использования водных ресурсов водохранилища» (2000), утверждаемыми МПР России. «Правила» разрабатываются для конкретного объекта и с учетом обеспечения интересов всех водопользователей, требований рационального использования и охраны водных ресурсов, потребности рыбного хозяйства при соблюдении приоритета питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Неотъемлемой составной частью этого документа являются порядок регулирования

Таблица 9.13

Внутригодовое распределение стока в створе Вилюйской ГЭС (1974–2005 гг.) по месяцам (в км³) и по сезонам (в % от годового), рассчитанное для конкретных лет водности заданной обеспеченности P (25%, 50%, 75% и 95%)

Характеристика водности реального года, в %	Месяцы												Год	IV–VII	Лимитирующий период		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			VIII–III	VII–XI	XII–III
	объемы стока в км³														в % от годового		
Многоводный (25)	2,56	2,25	2,16	3,20	2,11	6,32	1,92	0,82	2,29	1,73	2,13	2,58	30,1	45	55	23	32
Средний (50)	2,10	1,95	1,93	1,57	1,26	3,18	1,53	0,85	1,05	1,54	2,13	2,18	21,3	36	64	26	38
Маловодный (75)	2,40	1,86	2,07	1,48	1,22	1,11	1,90	0,65	0,97	1,58	2,07	2,26	19,6	29	71	28	43
Очень маловодный (95)	2,40	1,86	2,07	1,48	1,22	1,11	1,90	0,65	0,97	1,58	2,07	2,26	15,4	32	68	27	41
Средний по водности за период 1974–2005 гг.	2,17	1,90	1,86	1,68	1,34	2,64	2,67	1,32	1,50	1,62	1,90	2,13	22,5	35	65	27	38

Таблица 9.14

Внутригодовое распределение стока в створе Цимлянской ГЭС (1954–2005 гг.) по месяцам (в км³) и по сезонам (в % от годового), рассчитанное для конкретных лет водности заданной обеспеченности P (25%, 50%, 75% и 95%)

Характеристика водности реального года, в %	Месяцы												Год	IV–VII	Лимитирующий период		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			VIII–III	VIII–XI	XII–III
	объемы стока в												в % от годового				
Многоводный (25)	0,81	0,67	0,77	1,74	2,64	1,50	1,11	1,21	1,16	1,16	1,21	0,97	14,95	45	55	30	25
Средний (50)	0,79	0,73	0,80	1,48	1,52	1,10	1,15	1,14	1,09	1,19	1,06	0,89	12,94	41	59	35	24
Маловодный (75)	0,56	0,25	0,21	0,62	1,13	1,08	1,13	1,08	1,04	1,03	0,91	0,27	9,31	42	58	43	15
Очень маловодный (95)	0,31	0,26	0,28	0,58	0,98	0,95	0,52	0,67	0,53	0,52	0,72	0,49	6,80	44	56	35	21
Средний по водности за период 1954–2005 гг.	0,80	0,77	1,02	1,68	2,41	1,51	1,36	1,35	1,28	1,29	1,16	0,83	15,45	45	55	33	22

режимов наполнения и сработки водохранилищ, пропуска паводков, учет использования водных ресурсов водохранилища и т. д. Разработка «Правил» невозможна без детального гидрологического обоснования объекта с учетом сбора многолетних данных по притоку/стоку в створе ГЭС и детального анализа формирования внутригодового и сезонного распределения стока на водосборе.

9.3.3. Водоохранилища как потребители пресной воды

Как отмечалось выше, главная задача большинства водохранилищ — регулирование речного стока с целью устранения дефицита водных ресурсов в маловодные сезоны или годы.

Вместе с тем сооружение крупных водохранилищ не только осуществляет регулирование стока, но и может значительно увеличивать объем безвозвратных потерь в результате испарения с их водной поверхности. Увеличивая испарение в результате затопления больших территорий в зонах недостаточного увлажнения, водохранилища уменьшают суммарные водные ресурсы, выступая в качестве одного из потребителей пресной воды. В связи с этим представляется необходимым учитывать эту роль водохранилищ при оценках суммарного и безвозвратного водопотребления, особенно в районах с сухим климатом.

Объем дополнительных потерь за счет сооружения водохранилищ оценивается по разности величин испарения с водного зеркала водохранилища и с той же территории до затопления, включающей поверхность суши и реки в естественных условиях. Как правило, водохранилища, сооруженные в зонах переменного и недостаточного увлажнения, а тем более в аридных районах, уменьшают суммарные

водные ресурсы водосбора за счет большего испарения с водной поверхности по сравнению с затопленной суши.

Для водохранилищ руслового типа величина этого уменьшения обычно незначительна ввиду того, что дополнительная площадь водной поверхности невелика, а испарение с пойменных участков суши близко к испарению с водного зеркала. В отдельных случаях, когда затопляются обширные пойменные участки, занятые интенсивно испаряющей влаголюбивой растительностью, сооружение водохранилищ может и не сопровождаться уменьшением водных ресурсов даже в районах с сухим климатом.

9.3.3.1. Методы оценки дополнительных потерь воды на испарение

Как правило, сооружение водохранилищ влечет за собой некоторое уменьшение возобновляемых водных ресурсов за счет дополнительного испарения в бассейне. В отдельных регионах это уменьшение может составлять значительную долю общего безвозвратного потребления воды на хозяйственные нужды, поэтому данный аспект довольно важен в общем комплексе проблем влияния деятельности человека на водные ресурсы.

В результате сооружения водохранилищ происходит изменение объема стока в замыкающем створе реки (ΔR_p) за счет изменения суммарного испарения в бассейне (U), а также в результате заполнения чаши водохранилища и увеличения запасов подземных вод W .

$$\Delta R_p = U + W \quad (9.3)$$

Первая составляющая уравнения (9.3) U является постоянно действующим фактором за все вре-

мя существования водохранилищ. Величина W представляет собой временные потери для замыкающего створа реки, действующие в период с начала заполнения водохранилища до наступления установившегося режима подземных вод, при этом продолжительность периода для крупных равнинных водохранилищ весьма велика и составляет 7–15 лет (Шикломанов, 1979).

Величины U и W имеют, как правило, наибольшие значения при сооружении водохранилищ в зонах недостаточного увлажнения: первая — за счет большей разницы испарения с водной поверхности по сравнению с суши, а вторая — за счет более глубокого стояния в естественных условиях уровней грунтовых вод в районе сооружения водохранилищ.

Объем потерь воды за счет изменения испарения в бассейне U складывается из трех составляющих:

$$U = U_3 + U_{\Pi} + U_{\text{НБ}}, \quad (9.4)$$

где U_3 — объем потерь с территории, затопленной водохранилищем, U_{Π} — то же с территории подтопления, $U_{\text{НБ}}$ — объем потерь за счет изменения процессов затопления в нижних бьефах водохранилищ.

Главную роль в уравнении (9.4) имеет первая составляющая U_3 , величина которой определяется площадью территории, затопленной водохранилищем A_3 и дополнительным слоем испарения E_3 с этой территории:

$$U_3 = E_3 \cdot A_3 \cdot 10^{-6}, \quad (9.5)$$

где U_3 — км³, A_3 — в км², E_3 — в мм.

Величина E_3 может быть рассчитана за месяц, сезон или год по уравнению:

$$E_3 = E_{\text{вп}} - P + R_3, \quad (9.6)$$

которое может быть получено по разности уравнений водного баланса участка водосбора до и после сооружения водохранилища (Шикломанов, 1979).

В уравнении (9.6): $E_{\text{вп}}$ — испарение с водной поверхности водохранилища, P — осадки на водную поверхность, R_3 — сток, который формируется с участка долины, занятой водохранилищем.

Площадь затопленной территории A_3 в формуле (9.5), очевидно, будет равна:

$$A_3 = A_{\text{вп}} - A_{\text{р}}, \quad (9.7)$$

где $A_{\text{вп}}$ — площадь водной поверхности водохранилища; $A_{\text{р}}$ — площадь русла в естественных условиях на территории, занятой водохранилищем.

Потери на испарение с зоны подтопления прилегающих к водохранилищу земель U_{Π} определяются по выражению:

$$U_{\Pi} = (E_{\Pi} - E_{\text{с}})A_{\Pi} \cdot 10^{-6}, \quad (9.8)$$

где U_{Π} в км³; E_{Π} — испарение с зоны подтопления, в мм; $E_{\text{с}}$ — испарение с суши до подтопления, в мм; A_{Π} — площадь подтопленной территории, в км², т. е. это участок суши, прилегающий к контуру водохранилища с глубиной залегания уровня грунтовых вод обычно не более 2,0–2,5 м.

Во многих речных бассейнах влияние больших водохранилищ на испарение проявляется не только в пределах зон затопления, но и ниже расположения водохранилищ в связи с изменением режима и площадей затопления поймы реки и дельты. Обычно происходит уменьшение испарения ниже водохранилища $U_{\text{НБ}}$ вследствие сокращения площадей затопления поймы и дельты в результате уменьшения максимальных расходов воды при регулировании стока. Как показали исследования (Шикломанов, Кожевников, 1974; Шикломанов, 1979), при неизменных метеорологических условиях в пределах рассматриваемых участков ниже водохранилища величина $U_{\text{НБ}}$ пропорциональна изменению параметра затопления, отражающего изменение максимальной площади и продолжительности затопления в результате снижения максимальных расходов и объемов половодья, обусловленных созданием водохранилищ.

При сооружении водохранилищ сток реки в замыкающем створе изменяется не только за счет дополнительного испарения, но и в результате аккумуляции в чаше водохранилища $W_{\text{АК}}$ и пополнения запасов подземных вод $W_{\text{ПВ}}$:

$$W = W_{\text{АК}} + W_{\text{ПВ}} = W_{\text{АК}} + W_{\text{ЛВ}} + W_{\text{БВ}}, \quad (9.9)$$

где $W_{\text{ЛВ}}$ — затраты воды на насыщение зоны аэрации ложа водохранилища; $W_{\text{БВ}}$ — объемы воды, поступающие в берега водохранилищ. При этом суммарные водные ресурсы в бассейне за счет W не уменьшаются, происходит лишь их перераспределение и переход одного вида водных ресурсов в другой.

Определение $W_{\text{АК}}$ не составляет труда при наличии водных балансов водохранилищ. Величина $W_{\text{ЛВ}}$ определяется для каждого водохранилища в зависимости от мощности зоны аэрации ложа водохранилища до его сооружения и недостатка насыщения грунта, который зависит от характеристик грунтов зоны аэрации. Насыщение зоны аэрации

происходит, как правило, в первые 10–20 суток после заполнения ложа водохранилища.

Гораздо сложнее определение объемов воды, формирующих искусственные запасы подземных вод в районах, прилегающих к водохранилищам ($W_{\text{БВ}}$). Пополнение запасов подземных вод для различных водохранилищ может происходить в течение многих лет после их заполнения и представляет собой весьма существенные значения, которые следует учитывать при комплексной оценке влияния водохранилищ на сток рек.

Например, согласно данным наблюдений, приведенным в работе (Шикломанов, 1989), подъем грунтовых вод в зоне крупнейшего в Европе Куйбышевского водохранилища на р. Волга (полный объем 58 км^3 , площадь водного зеркала 6450 км^2) происходил с 1955 (начало затопления) по 1964 г. и распространился в зоне шириной до 20 км.

9.3.3.2. Анализ величин дополнительного испарения с водохранилищ в бассейнах рек Волги и Днепра

На основе использования изложенных выше уравнений в ГГИ разработана детальная методика комплексной оценки влияния водохранилищ на годовой сток рек (Шикломанов, 1989). Она предполагает использование для каждого водохранилища большого объема необходимой исходной информации: данные наблюдений за стоком рек в бассейне до постройки водохранилищ, кривые объемов и площадей водной поверхности и месячные водные балансы водохранилищ, наблюдения за уровнями подземных вод, сведения о характеристиках почво-грунтов в районе расположения водохранилищ и другие данные.

Указанная методика была использована в ГГИ для оценки влияния на годовой сток крупнейших рек Европы — Волги и Днепра, в бассейнах которых в течение нескольких десятилетий были сооружены целые каскады крупных водохранилищ, осуществляющие сезонное и месячное регулирование стока.

В бассейне р. Волга (площадь водосбора 1340 тыс. км^2 , среднегодовой сток 254 км^3) построено девять водохранилищ на главной реке и на ее самом крупном притоке (р. Кама) суммарным объемом 160 км^3 и площадью водной поверхности 21160 км^2 . В бассейне р. Днепр (площадь водосбора 505 тыс. км^2 , среднегодовой сток $53,9 \text{ км}^3$) действуют 6 водохранилищ суммарным объемом

$43,7 \text{ км}^3$ и площадью водной поверхности 6974 км^2 . Основные характеристики водохранилищ в бассейне Волги (Волго-Камский каскад) и в бассейне Днепра (Днепровский каскад) представлены в табл. 9.14.

В этой же таблице в качестве примера приведены для каждого водохранилища рассчитанные по детальной методике ГГИ и осредненные за многолетний период величины потерь с территорий, затопленных водохранилищами U_3 (за год и отдельно за теплый и холодный период года).

Согласно приведенным данным, сток годовых потерь на испарение с водохранилищ имеет ярко выраженный зональный характер и изменяется для бассейна р. Волга от $90\text{--}130 \text{ мм}$ для северных водохранилищ до $350\text{--}400 \text{ мм}$ для водохранилищ, расположенных в зоне недостаточного увлажнения. Для бассейна р. Днепр эти величины изменяются, соответственно, от 240 до $400\text{--}450 \text{ мм}$. Суммарный объем дополнительных потерь на испарение U_3 с крупных водохранилищ составляет для Волги в среднем $3,7 \text{ км}^3/\text{год}$, для Днепра — $2,3 \text{ км}^3/\text{год}$ или, соответственно, $1,5\%$ и $4,3\%$ от нормы годового стока. В зимний период года водохранилища способствуют некоторому увеличению стока (примерно на $1,7 \text{ км}^3$ для бассейна Волги и на $0,5 \text{ км}^3$ для бассейна Днепра).

На рис. 9.22 по каждому каскаду представлены суммарные годовые величины потерь $U_3 \text{ км}^3$ за период с 1959 г., когда действовали практически все

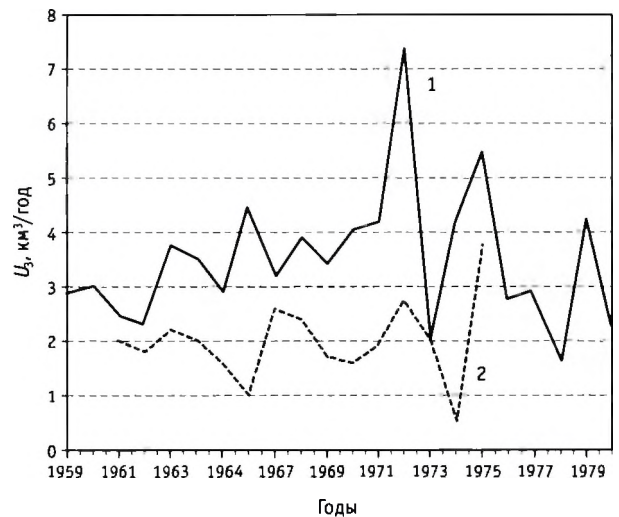


Рис. 9.22. Динамика потерь воды на испарение (U_3 , км³) с зон затопления Волжско-Камского (1) и Днепровского (2) каскадов водохранилищ

Основные характеристики водохранилищ Волжско-Камского и Днепровского каскадов и потерь стока за счет испарения с их водной поверхности (средние за многолетний период)

Водохранилище	Год заполнения	Полный объем, км ³	Полезный объем, км ³	A _{нпу} , км ²	A _{вп} , км ²	A _з , км ²	K _p = $\frac{A_{вп}}{A_{нпу}}$	K _з = $\frac{A_з}{A_{вп}}$	Потери стока			
									теплый период	холодный период	год	
									U _y , км ³	U _y , км ³	U _y , км ³	E _y , мм
Волжско-Камский каскад												
Иваньковское	1937	1,12	0,81	327	273	235	0,83	0,86	0,056	-0,029	0,027	100
Угличское	1940	1,25	0,81	250	226	186	0,90	0,82	0,058	-0,029	0,029	140
Рыбинское	1949	25,4	16,7	4580	4030	4030	0,88	1,00	1,16	-0,46	0,70	130
Горьковское	1957	8,8	2,8	1570	1570	1220	1,00	0,78	0,43	-0,18	0,25	220
Камское	1956	12,2	9,2	1920	1540	1320	0,81	0,85	0,35	-0,19	0,16	120
Вяткинское	1964	9,4	3,7	1120	900	650	0,80	0,72	0,16	-0,10	0,06	90
Куйбышевское	1957	58,0	34,6	6450	5490	4010	0,85	0,73	1,62	-0,41	1,21	290
Саратовское	1968	12,9	1,8	1830	1830	1250	1,00	0,69	(0,52)	(-0,08)	(0,44)	(350)
Волгоградское	1960	31,5	8,3	3120	3010	2070	0,96	0,69	1,06	-0,21	0,85	410
Волжско-Камский каскад		160,6	77,9	21160	18870	14970	0,89	0,79	5,41	-1,69	3,72	—
Днепровский каскад												
Киевское	1966	3,7	1,2	922	871	814	0,94	0,93	0,27	0,07	0,20	240
Каневское	1973	2,6	0,3	675	(620)	(560)	(0,92)	(0,90)	(0,21)	(-0,04)	(0,17)	(300)
Кременчугское	1961	13,5	9,1	2250	1940	1794	0,86	0,92	0,86	-0,16	0,70	330
Днепродзержинское	1965	2,4	0,3	567	554	482	0,98	0,87	0,22	-0,05	0,17	350
Днепровское	1933	3,3	0,8	410	376	294	0,92	0,78	0,16	-0,04	0,12	390
Каховское	1958	18,2	6,8	2150	2134	1940	0,99	0,90	1,04	-0,14	0,90	460
Днепровский каскад		43,7	18,5	6974	6995	5884	0,93	0,90	2,76	-0,50	2,26	—

водохранилища (кроме Киевского на р. Днепр и Саратовского на р. Волга, которые вступили в строй в 1967–1968 гг.). При анализе приведенных данных обращает на себя внимание большая изменчивость во времени величин U_3 : для бассейна Волги она составляет $C_{VU} = 0,45$ и для бассейна Днепра $C_{VU} = 0,35$. Для отдельных водохранилищ эта изменчивость, естественно, будет еще больше: например, для Рыбинского — 0,70, для Куйбышевского и Днепровского — 0,40, для Каховского — 0,36. В бассейне р. Волга максимальные годовые значения дополнительных потерь на испарение были в 1972 г. и составили 7,4 км³ (3% годового стока реки у г. Волгограда). В бассейне р. Днепр самые большие потери на испарение были в 1975 г., когда наблюдалось очень сухое и жаркое лето. В этот год суммарные дополнительные потери воды на испарение по каскаду составили 3,72 км³, или 9,1% годового стока реки.

9.3.3.3. Упрощенная схема оценки дополнительного испарения

Очевидно, что детальная методика комплексной оценки влияния водохранилищ на возобновляемые водные ресурсы ввиду отсутствия значительной

части необходимых исходных данных не может быть применена для всех водосборов и тем более регионов. Поэтому в ГГИ на основании анализа полученных результатов расчета для большого количества водохранилищ разного вида, расположенных в различных физико-географических условиях, была разработана упрощенная схема расчета. Она базируется на использовании имеющихся для каждого крупного водохранилища проектных данных, обобщенной информации по водному хозяйству, гидрометеорологическим и гидрогеологическим характеристикам, картографическим материалам.

Расчеты по упрощенной схеме выполняются не за каждый конкретный год, а в среднем не менее, чем за пяти-, десятилетние периоды, что дает возможность значительно сократить объем необходимых исходных данных и упростить вычисления. Объем потерь с территории затопления U_3 определяется по формуле (9.5), однако для расчета слоя дополнительного испарения E_3 вместо формулы (9.6) применяется уравнение:

$$\bar{E}_3 = \bar{E}_{вп} - \bar{E}_C, \quad (9.10)$$

которое нетрудно получить из уравнения (9.6) при осреднении элементов за многолетние периоды (Шикломанов, 1979). В формуле (9.10) $\bar{E}_{вп}$ и \bar{E}_C —

нормы испарения соответственно с водной поверхностью и суши для района расположения водохранилищ; они определяются по имеющимся формулам или картам изолиний. В частности, для этой цели для различных регионов могут быть использованы соответствующие карты, опубликованные в «Атласе мирового водного баланса», являющимся приложением к известной монографии (Корзун, 1974).

Средняя площадь затопления \bar{A}_3 рассчитывается приближенно в зависимости от типа водохранилища и проектной площади водной поверхности $A_{НПУ}$ с введением необходимых коэффициентов:

$$\bar{A}_3 = K_p \cdot K_3 \cdot A_{НПУ}; K_p = \frac{\bar{A}_{ВП}}{A_{НПУ}}; K_3 = \frac{\bar{A}_3}{\bar{A}_{ВП}}. \quad (9.11)$$

Значение коэффициента K_p определяется отношением фактической средней за период площади водной поверхности $A_{ВП}$ к площади при НПУ при полном заполнении водохранилища и зависит, очевидно, от характера регулирования стока (суточное, недельное, месячное, сезонное, многолетнее) и вида кривой зависимости площади водохранилища от уровня. Для большей части горных и полугорных водохранилищ сезонного регулирования и равнинных суточного и недельного регулирования $K_p \approx 1$. Для равнинных водохранилищ сезонного регулирования $K_p = 0,80 - 0,90$. В среднем для девяти водохранилищ Волжско-Камского каскада за многолетний период $K_p = 0,89$, для Днепровского каскада $K_p = 0,93$ (табл. к рис. 9.22).

Значение коэффициента K_3 определяется отношением площадей затопления и водного зеркала водохранилища и зависит в основном от вида водохранилища (речное, долинное, озерное) и от амплитуды колебания уровней воды в реке в естественных условиях. Для озерных водохранилищ на равнинных реках $K_3 = 0,90 - 1,0$; для озерно-долинных — $K_3 = 0,80 - 0,90$; для долинно-русловых — $K_3 = 0,70 - 0,80$; для русловых — $K_3 = 0,65 - 0,70$.

Потери на дополнительное испарение с площадей подтопления водохранилищ $U_{П}$ обычно составляют незначительную часть от величины U_3 ; в пределах от 4 до 10% для равнинных водохранилищ, в зависимости от глубины залегания подземных вод и климатических характеристик. Для горных и полугорных водохранилищ этой величиной практически можно пренебречь.

Величины $U_{НБ}$ могут играть важную роль при оценке комплексного влияния водохранилищ на сток и водный баланс таких рек, в нижних течениях которых в естественных условиях имели место

значительные потери стока на непродуктивное испарение. Это, как правило, реки южных районов, имеющие паводочный режим в теплое время года. Для оценки величин $U_{НБ}$ прежде всего необходимо знать естественные потери стока на испарение при разливах в поймах рек и в дельтах в условиях различной водности.

Для приближенной оценки в пределах крупных регионов величинами $U_{П}$ и $U_{НБ}$ можно пренебречь, тем более, что по величине они в значительной степени компенсируют друг друга.

Уменьшение стока реки в замыкающем створе за счет аккумуляции воды в чаше водохранилища $W_{АК}$ определяется приближенно по величине проектного полного объема водохранилища при НПУ и периоду его наполнения. В периоды после наполнения водохранилищ величина $W_{АК}$ в среднем за многолетний период принимается равной нулю.

Единовременные потери на фильтрацию в ложе и берега водохранилищ на пополнение запасов подземных вод $W_{ПВ}$ обычно оцениваются приближенно в зависимости от площадей затопления и уровня залегания подземных вод в районе водохранилищ. Эти потери имеют место в период от начала заполнения водохранилищ до установившегося режима подземных вод на прилегающих территориях. В последующие годы эти величины принимаются равными нулю.

Приближенная схема расчета была использована в ГГИ для оценки влияния существующих и проектируемых водохранилищ на средний годовой сток всех основных речных бассейнов на территории бывшего СССР. Основные результаты этих расчетов приведены в работах (Шикломанов, Веретенникова, 1978; Шикломанов, 1979). В качестве примера часть этих материалов (с некоторыми корректировками, выполненными в последнее время) для бассейнов рек Волги и Днепра приведены в табл. 9.15. Эти данные включают в себя влияние не только крупных водохранилищ Волжско-Камского и Днепровского каскадов, но и малых водохранилищ и прудов, находящихся в бассейнах.

Как видно из представленных данных, дополнительные потери на испарение ($U_3 + U_{3П}$) в бассейнах постепенно увеличиваются в связи с ростом числа малых водохранилищ. Наибольшее значение аккумуляции $W_{АК}$ имело место в период наполнения наиболее крупных водохранилищ (1956–1960 гг.); в этот период уменьшение годового стока рассматриваемых рек в замыкающих створах было наиболее значительным. Ввиду того, что основное гидротех-

Таблица 9.15

Уменьшение стока рек Волги и Днепра под влиянием водохранилищ за пятилетние периоды, км³/год

Характеристики водохранилищ	Годы							
	1951–1955	1956–1960	1961–1965	1966–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990
Бассейн р. Волга								
Водоохранилища Волжско-Камского каскада								
U_3	0,9	2,0	2,9	3,7	4,6	2,6	4,3	4,5
$U_{п}$	0,0	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
$U_{нб}$	0,0	-1,2	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5
$W_{ак}$	-1,6	16,5	4,1	-0,7	-4,3	8,0	2,2	0,2
$W_{лв}$	0,7	1,6	0,2	0,1	0,0	0,4	0,4	0,0
$W_{бв}$	0,8	2,6	0,4	0,6	0,0	0,5	0,5	0,0
Другие водохранилища объемом > 50 млн км³								
U	0,2	0,2	0,5	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9
W	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	1,1	0,9
Всего	1,4	22,6	7,7	4,2	0,8	12,0	8,5	5,5
Бассейн р. Днепр								
Водоохранилища Днепровского каскада								
$U_3 + U_{п}$	0,12	0,98	1,90	1,92	2,73	2,43	2,43	2,43
W	1,69	6,1	1,73	0,95	0,24	0,0	0,0	0,0
Другие водохранилища								
$U+W$	0,25	0,42	0,40	0,30	0,70	1,10	0,9	1,0
Всего	2,06	7,50	4,03	3,37	3,67	3,53	3,33	3,43

ническое строительство в бассейнах рек Волги и Днепра завершено, суммарное влияние водохранилищ на годовой сток практически стабилизировалось и в современных условиях и на перспективу определяется главным образом величинами дополнительных потерь на испарение, которые, в свою очередь, могут служить показателем водохранилищ как потребителей воды.

В последние годы в ГГИ с использованием упрощенного метода расчета были выполнены оценки дополнительных потерь воды на испарение с водохранилищ для всех природно-экономических регионов и континентов мира, а также для 56 избранных стран, имеющих более или менее значительные водохранилища. Для России такие оценки выполнены и для основных речных бассейнов. Исходным материалом для расчета послужила имеющаяся в институте база данных по водохранилищам мира (см. разд. 12.4.3), из которой были использованы сведения по всем водохранилищам с объемом более 1 км³.

Для оценок применительно к речным бассейнам и федеральным округам России использовались данные, приведенные в Российском реестре гид-

ротехнических сооружений (2006 г.). В результате обобщения имеющейся информации была выявлена тенденция развития водохранилищ в России за многолетний период (без учета бывших республик СССР), характерная для общей динамики строительства водохранилищ в мире. Так, до 1940 г. общая площадь построенных в России водохранилищ (без подтопленных озер) оценивалась в 3 тыс км², затем, к началу 1960-х гг., общая площадь возросла до 26 тыс. км², в последующие 20 лет суммарная площадь водохранилищ возросла примерно до 50 тыс. км², а к началу XXI в. она составляла около 63 тыс. км².

Рассчитанные потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ по федеральным округам приведено в табл. 9.16.

Таблица 9.16

Потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ по федеральным округам в современный период

Федеральные округа	Площадь водной поверхности, км ²	Потери воды на дополнительное испарение, км ³
Центральный	2430	0,33
Северо-Западный	13 290	1,19
Южный	9240	3,32
Приволжский	15 725	3,54
Уральский	1185	0,053
Сибирский	14 480	1,3
Дальневосточный	6050	1,36
Россия в целом	62 400	11,1

Наибольшие потери воды на испарение наблюдаются в Приволжском ФО, в котором сосредоточены водохранилища с наибольшей площадью. В этом регионе наблюдается и значительная разница в испарении с водной поверхности и с суши. Такие же потери воды на испарение имеют место и в Южном ФО, однако в этом регионе они обусловлены, главным образом, климатическим фактором.

В соответствии с выполненными оценками суммарная величина дополнительных потерь на испарение с водохранилищ России колеблется в среднем за многолетний период от 11 км³ до 12 км³ в год, из которых около 5,5–6,0 км³ в год приходится на водохранилища в бассейне р. Волга; для бассейна р. Дон эта величина составляет примерно 2 км³ в год, для р. Енисей — 0,5–0,6 км³ в год, для р. Кубань — 0,3 км³ в год. Данные по величинам дополнительных потерь на испарение с водохранилищ

были учтены при оценках динамики изменения годового стока основных речных бассейнов России за счет комплекса факторов хозяйственной деятельности, которые приведены ниже, в разд. 9.6. Анализ данных по водохранилищам стран и природно-экономических регионов мира в сопоставлении с величинами возобновляемых водных ресурсов и их использования представлены в гл. 12 настоящей монографии.

9.3.4. Восстановление естественного стока зарегулированных рек

9.3.4.1. Общие положения

При гидрологическом обосновании водохозяйственных проектов в бассейнах рек с интенсивным использованием водных ресурсов, в том числе зарегулированных водохранилищами, возникает ряд специфических проблем. Так, гидрологам хорошо известна парадоксальная ситуация, при которой, несмотря на наличие наблюдений за стоком в течение многих десятилетий, использовать их для расчетов не представляется возможным из-за нарушения однородности стоковых рядов. Отсюда возникла задача восстановления значений естественного стока рек. По сути, речь идет о выделении в многолетних колебаниях речного стока естественной (климатической) и техногенной составляющих.

Восстановление естественных характеристик стока дает возможность оценить степень влияния антропогенных факторов на естественный природный процесс, что имеет как самостоятельное значение, так и является основой для прогноза его изменения под влиянием планируемых водохозяйственных мероприятий, а также позволяет сохранить однородность многолетних рядов наблюдений, в значительной мере определяющих точность водохозяйственных расчетов.

Восстановленные ряды стока служат базовой информацией для различного рода имитационных моделей водохозяйственных систем, предназначенных для расчетов характеристик стока и водноэнергетических расчетов при заданном уровне хозяйственного освоения водосборов. Отметим, что задача создания надежной информационной базы и межведомственного банка гидрологических данных, включающих ряды естественного речного стока в створах существующих и проектируемых водохранилищ и в регионах с развитой мелиорацией в ре-

шениях VI Всесоюзного гидрологического съезда была отнесена к разряду первоочередных.

Необходимость восстановления стока в бассейнах рек, зарегулированных водохранилищами, выделения естественной составляющей в многолетних колебаниях водности определяется также и следующими соображениями. Как известно, формирование стока рек в последние два десятилетия происходит на фоне прогрессирующего глобального потепления климата. В связи с этим крайне важно оценить климатические изменения в водном режиме, их направленность и интенсивность. Очевидно, что для рек с наиболее активной хозяйственной деятельностью на водосборах и в руслах (Волга, Дон, Кубань, Урал, Обь, Енисей), такая оценка может быть выполнена только после ретрансформации естественного стока.

Несмотря на очевидную актуальность рассматриваемой проблемы, методическим и практическим вопросам восстановления стока уделялось, на наш взгляд, недостаточное внимание. Исследования по ретрансформации гидрографов стока ранее выполнялись только применительно к бассейну Волги. Так, в исследовании (Соколов, Попова, 1979) приведена методика восстановления годового гидрографа стока р. Волга по декадным интервалам времени, основанная на использовании данных по водным балансам водохранилищ. Указанную методику, по нашему мнению, наиболее целесообразно использовать для сравнительно большого расчетного интервала времени (не менее сезона) ввиду того, что данные об элементах водного баланса водохранилищ по коротким интервалам времени (например, за декаду) или отсутствуют, или содержат значительные погрешности, обуславливающие низкую точность восстановления. К тому же, при использовании воднобалансового подхода задача оценки изменения запасов воды в руслах и поймах рек для условий, существовавших до сооружения водохранилищ, является трудноразрешимой без проведения специальных наблюдений.

В институте «Гидропроект» (Шуваев, Цейтлин, 1974) для восстановления естественных гидрографов весеннего стока Волги расчет движения волны половодья выполнялся по методу мгновенных режимов для 145 участков. При расчете по каждому из этих участков исходными данными служили, кроме кривых объемов, такие гидравлические и морфометрические характеристики, как коэффициент шероховатости, смоченный периметр, площадь живого сечения. Необходимо отметить, что

для определения этих характеристик и их изменений по длине реки требуются специальные данные натуральных наблюдений на участках рек за период до создания водохранилищ. При их отсутствии приходится производить подбор и корректировку многочисленных параметров, что часто приводит к недостаточной надежности результатов. В дальнейшем эта работа получила развитие в исследованиях (Асарин 1986а; 1986б), выполнившего ретрансформацию ежедневных расходов и уровней воды в период половодий за 1956—1980 гг. В институте «Гидропроект» также были рассчитаны ряды месячного восстановленного стока за 1914—1988 гг. в створах гидроузлов Волжско-Камского каскада.

Для трансформации паводочного стока р. Днепр в УкрНИИ (Железняк и др., 1981) был разработан детальный способ, основанный на совместном решении уравнения водного баланса и уравнения движения, представленном в форме кривой объемов, по участкам реки, в пределах которых время добегающего равно или близко к одним суткам. При наличии достаточно плотной сети гидрометрических створов, а также исходной морфометрической информации для определения емкости речных участков, указанный способ обеспечивает высокую точность расчетов.

В связи с необходимостью решения задачи по восстановлению стока для всех основных речных бассейнов страны, интенсивно используемых в хозяйственном отношении, в ГГИ была разработана методика ретрансформации естественных гидрографов стока больших рек, зарегулированных водохранилищами, позволяющая выполнять восстановление стока по расчетным интервалам времени от суток до месяца с использованием стандартной гидрометрической информации (Георгиевский, Моисеенков, 1984; Шикломанов и др., 1984; Георгиевский и др., 1986, Методические указания... 1986).

9.3.4.2. Методика исследования

Общий подход к ретрансформации стока по коротким интервалам времени (сутки, декада, месяц) заключается в расчете неустановившегося движения воды, где в качестве исходных данных используются естественные гидрографы стока по входным створам на основной реке и ее главных притоках (Шуваев, Цейтлин, 1974; Георгиевский, Моисеенков, 1984; Железняк и др., 1981). Ниже этих створов река разделяется на отдельные участки, по которым последовательно производится трансформация

стока с помощью упрощенных методов расчета неустановившегося движения воды.

Исследование и расчеты производятся по следующим основным этапам:

— учитывается расположение гидрометрических створов в рассматриваемой речной системе и временной интервал, по которому требуется выполнить восстановление стока (от суток до месяца), и выделяются расчетные участки;

— подготавливается база данных по стоку в створах, ограничивающих расчетные участки, а также по боковой приточности;

— рассчитываются гидрографы суммарной боковой приточности для каждого расчетного участка;

— производится расчет гидрометрического руслового водного баланса для каждого участка за каждый год и определяются его невязки. В случае выявления систематических невязок на каком-либо из участков составляется его детальный русловой водный баланс, путем анализа которого определяются физические факторы, вызывающие увеличение или уменьшение стока дополнительно к учетному при определении гидрометрического водного баланса. С учетом выявленных причин производится увязка стока;

— если сток по входным створам или боковым притокам нарушен влиянием хозяйственной деятельности, то предварительно производится его восстановление с использованием статистических или воднобалансовых методов (Методические указания, 1986);

— выбирается метод расчета трансформации стока с учетом имеющейся исходной информации и заданного расчетного интервала времени;

— производится определение необходимых зависимостей и параметров за годы с естественным режимом, расчет неустановившегося движения воды и оценка его точности. Эффективность методики расчета трансформации стока оценивается за ряд лет различной водности, данные по которым не использовались при определении параметров, входящих в расчетные уравнения.

При расчетах трансформации паводочных волн не учитываются потери в пойме на испарение с поверхности воды и транспирацию влаги полупогруженной растительностью, аккумуляция в почвогрунтах зоны аэрации и изменение запасов грунтовых вод. На участках рек с широкой затопляемой поймой недоучет отмеченных факторов может привести к значительным погрешностям расчета

расходов воды в нижнем створе. На подобных участках необходимо оценить влияние этих факторов с использованием методов (Методические указания... 1977), подготовленных в ГГИ.

При отсутствии данных о площадях затопления поймы и данных наблюдений за влажностью почвогрунтов и уровнями грунтовых вод, приближенный учет редукиции максимумов и объемов половодий и паводков в результате влияния пойменной аккумуляции выполняется на основе сравнения фактических и расчетных расходов воды в замыкающем створе участка за годы различной водности в естественных условиях. Если наблюдается систематическое завышение рассчитанных максимумов и объемов половодья над измеренными, то определяется превышение и его зависимость от водности половодья.

Одним из важнейших этапов разработанного методического подхода по восстановлению гидрографов естественного стока рек, зарегулированных водохранилищами, является расчет неустановившегося движения воды в руслах. Учитывая, что главной целью является, в конечном итоге, восстановление естественного стока основных рек страны по коротким интервалам времени, для трансформации были использованы упрощенные методы расчета неустановившегося движения воды. В процессе разработки методов восстановления стока и их практической апробации было установлено, что для трансформации паводочных волн очень хорошие результаты дает применение кривых добегания.

Использование для трансформации кривых добегания было продиктовано следующими соображениями:

— методика трансформации должна базироваться на данных наблюдений гидрометрической сети Росгидромета так как на большинстве рек отсутствуют детальные данные по морфометрическим и гидравлическим характеристикам русла;

— методика трансформации должна быть применима для речных бассейнов с произвольным расположением гидрометрических створов и для участков с различной протяженностью.

Большой положительный опыт применения в нашей стране в практике гидрологических расчетов и прогнозов кривых добегания для трансформации паводочных волн позволил прийти к выводу о том, что данная методика может быть использована и для восстановления гидрографов стока рек, зарегулированных водохранилищами.

С использованием кривых добегания трансформация гидрографов производится по интегралу Дюамеля:

$$Q_n(t) = \int_0^t Q_B(t-\tau)P(\tau)d\tau, \quad (9.12)$$

где $Q_n(t)$ — расход воды в замыкающем створе в момент времени t ; $Q_B(t-\tau)$ — расход воды во входном створе в момент времени $t-\tau$; $P(\tau)$ — кривая добегания.

Как показывает практика расчетов трансформации паводочных волн, кривая добегания хорошо аппроксимируется уравнением, предложенным Калининим и Милюковым (1958):

$$P(\tau) = \frac{\Delta t}{\tau(n-1)!} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (9.13)$$

где n — количество характерных участков с одинаковым временем добегания, равным τ .

Использование этого уравнения для трансформации паводочного стока связано с допущением о постоянстве параметров кривой добегания по всей амплитуде изменения расходов воды. Как справедливо указывают авторы исследования (Анкишин и др., 1971), посвященной обобщению опыта использования кривых добегания в прогнозах и расчетах стока, на многих реках при прохождении паводочных волн время добегания не остается постоянным, и в связи с этим расчеты с постоянными значениями параметров кривой добегания могут приводить к значительным погрешностям. С целью приближенного учета изменения времени добегания амплитуду многолетних изменений расходов воды разбивают на два-три диапазона, для которых кривую добегания приближенно принимают постоянной.

В ГГИ для трансформации паводочного стока был использован более общий подход, позволяющий учесть нелинейность уравнения (9.4) (Георгиевский, Моисеенков, 1984). В основе разработанного подхода лежит предпосылка, что каждому элементарному расходу, поступающему на участок через верхний створ, соответствует своя кривая добегания. Надо отметить, что впервые переменные кривые добегания были использованы для расчетов гидрографов паводков по данным об эффективных осадках (Шикломанов, 1968), что позволило более точно отразить динамику природного процесса. Естественно, что аналогичный подход имеет, по крайней мере, не меньше оснований для расчетов трансформации паводочных волн в русле.

Подбор кривой добегаания сводится к определению параметров n и τ , определяющих ее вид. Проведенные ранее исследования (Анкишин и др., 1971) указывают на то, что между параметром n и морфометрическими характеристиками участка существует достаточно четкая связь. При относительной неизменности во времени морфометрических характеристик параметр n является для каждого конкретного участка устойчивой величиной. Параметр τ при определенном значении n зависит только от общего времени добегаания на участке и, если последнее заметно изменяется с увеличением расхода, является переменным.

Таким образом, при известном n для определения τ нужно знать время добегаания на участке при различном наполнении русла. Время добегаания может быть определено по измеренным скоростям течения, а наполнение русла характеризуется значением среднего расхода на участке. При ретрансформации стока, когда известны только расходы воды, поступающие на рассматриваемый участок реки через верхний створ, время добегаания целесообразно определять по его зависимости от этого расхода. Как показал проведенный анализ таких связей по большому числу участков на ряде рек ЕТР в условиях естественного режима, они достаточно объективно отражают характер изменения времени добегаания с изменением наполнения русла.

С учетом изложенного, трансформация гидрографов стока производится в следующей последовательности:

- определяется зависимость времени добегаания на участке от расхода в верхнем створе;

- задается значение параметра n в соответствии с рекомендациями (см.: Анкишин и др., 1971);

- определяется соответствующее время добегаания и далее параметр τ для каждого расхода, поступающего на рассматриваемый участок реки;

- определяется кривая добегаания вида (9.5) по известным n и τ и по уравнению (9.4) рассчитывается расход в замыкающем створе;

- рассчитывается критерий качества как сумма отклонений вычисленных расходов от наблюдаемых;

- производится корректировка параметра n из условия минимума среднего квадратического отклонения рассчитанных расходов в нижнем створе от наблюдаемых.

Данная методика была использована для восстановления естественных гидрографов стока в бассейне Волги. Восстановление стока в створе Ры-

бинской ГЭС производилось по суточным интервалам времени, а в целом для бассейна, включая все основные створы, — по декадам. Подробно результаты этих исследований (см.: Георгиевский, Моисеенков, 1984, Шикломанов и др., 1984, Георгиевский и др., 1986, 1997).

В том случае, когда конечной задачей исследований является восстановление месячных расходов воды в бассейне крупной речной системы, вполне допустимым, как показали выполненные многочисленные расчеты, является использование модифицированной методики восстановления, по которой в общем виде расчет стока в нижнем створе по данным о стоке в верхнем створе и боковой приточности производился по формуле:

$$Q_i = \sum_1^{\tau_{\max}} P_B(\tau) Q_{B,i-(\tau-1)} + \sum_1^{\tau_{\max}} P_6(\tau) Q_{6,i-(\tau-1)}. \quad (9.14)$$

В этой формуле, предназначенной для расчетов по месячным интервалам времени: $P_B(\tau)$, $P_6(\tau)$ — значение трансформационной функции в расчетную единицу времени, соответственно для расходов верхнего створа и боковой приточности; Q_i — расход в нижнем створе за i -й интервал времени; $Q_{B,i-(\tau-1)}$ и $Q_{6,i-(\tau-1)}$ — расход в верхнем створе и расход боковой приточности, доля которого, равная соответственно $P_B(\tau)$ и $P_6(\tau)$, проходит нижний створ за i -й интервал времени.

С использованием разработанной методики была выполнена ретрансформация гидрографов стока больших рек России, зарегулированных водохранилищами. Ниже проиллюстрируем основные этапы исследований на примере восстановления естественного месячного стока в бассейне р. Волга.

9.3.4.3. Реализация методики восстановления стока на примере бассейна р. Волга

Основное требование при выделении расчетных участков — наличие данных гидрометрических наблюдений по входному и замыкающему створам участка и на основных боковых притоках за период до создания водохранилищ, в зоне влияния которых находится рассматриваемый участок. С учетом изложенного для восстановления месячного стока в створах гидроузлов Волжско-Камского каскада водохранилищ (ВКК) было выделено 13 расчетных участков.

Для всех створов, ограничивающих выделенные расчетные участки по основному руслу Волги и

Таблица 9.17

Статистические характеристики годового и сезонного естественного стока в створах гидроузлов ВКК

Гидроузел	Площадь водосбора, тыс. км ²	Год			Весна			Лето—осень			Зима		
		$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_2/C_v	$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_2/C_v	$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_2/C_v	$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_2/C_v
Иваньковский	41	299	0,25	1,00	690	0,29	2,00	188	0,55	3,00	151	0,52	2,00
Угличский	60	418	0,25	1,50	963	0,28	2,00	267	0,56	2,50	209	0,50	2,00
Рыбинский	150	1052	0,25	0,50	2470	0,28	2,00	661	0,52	3,00	513	0,46	2,00
Горьковский	229	1610	0,24	0,50	3780	0,27	2,00	1010	0,50	3,00	786	0,46	2,50
Чебоксарский	604	3490	0,20	0,50	8960	0,24	2,00	1930	0,35	3,00	1440	0,37	2,50
Камский	168	1640	0,20	0,50	3980	0,21	2,00	1230	0,39	3,00	568	0,31	2,50
Воткинский	184	1710	0,20	0,50	4140	0,21	2,00	1280	0,39	3,00	591	0,31	2,50
Нижекамский	370	2820	0,21	1,00	6480	0,25	1,00	2030	0,33	1,50	1260	0,42	2,50
Куйбышевский	1210	7650	0,18	0,50	18 200	0,21	1,50	5160	0,28	1,00	3330	0,32	1,50
Саратовский	1290	7880	0,19	0,50	18 700	0,21	1,50	5320	0,28	1,00	3420	0,32	1,50
Волгоградский	1360	8030	0,19	0,50	18 600	0,20	1,00	5690	0,26	1,50	3600	0,34	2,00

Камы, а также для замыкающих створов на основных боковых притоках был подготовлен архив по месячному стоку за период 1914–1996 гг. Также были использованы данные по боковой приточности к водохранилищам ВКК, рассчитанные в гидрометеорологических обсерваториях и опубликованные в «Материалах наблюдений на озерах и водохранилищах», а также в оперативных водных балансах водохранилищ, присылаемых в ГГИ.

Заполнение пропусков в наблюдениях, приведение данных по стоку к единому створу (если за период наблюдений менялось его местоположение) производились традиционно используемыми в гидрологии методами. Также был выполнен предварительный анализ исходной гидрометрической информации с целью выявления и устранения возможных невязок стока по длине реки в результате систематических погрешностей измерений стока или иных причин. Для этой цели были использованы данные по водным балансам водохранилищ ВКК.

Используя подготовленную информацию по стоку за годы (многолетние периоды) до создания водохранилищ, для каждого из участков определялись параметры трансформации для расчета месячного стока в нижнем створе по данным о месячном стоке во входном створе участка и боковой приточности (основных притоков). При этом месячные ряды боковой приточности на участках, в зависимости от наличия исходной информации, определялись или по сумме месячных расходов воды боковых притоков с учетом площади водосбора между верхним и нижним створами, не освещенной данными наблюдений, или по разности годовых

величин стока в граничных створах и внутригодовому распределению основного бокового притока на участке.

Параметры трансформационных функций для каждого участка определялись подбором из условия наилучшего соответствия рассчитанных гидрографов стока в нижнем створе с наблюдаемыми. Проверка схемы трансформации выполнялась за годы, данные по которым не использовались при определении параметров трансформации.

С помощью данных по естественным значениям месячного стока по входным створам Волги и Камы (соответственно Старица и Тюлькино) и рядов боковой приточности, а также полученных трансформационных функций производилась ретрансформация стока Волги и Камы последовательно, начиная с верхних участков, причем рассчитанные гидрографы стока в нижнем створе являлись входными для следующего участка. Восстановление месячных рядов стока было выполнено для всех створов ВКК, что позволило определить основные статистические характеристики годового и сезонного естественного стока в этих створах (табл. 9.17).

На рис. 9.23 показаны осредненные за многолетний период гидрографы бытового и восстановленного естественного стока для восьми гидроузлов ВКК. Из рисунка видно, что внутригодовое распределение стока изменяется гидроузлами, в основном путем перераспределения его в сторону увеличения меженного стока за счет снижения стока весеннего половодья, за исключением Иваньковского ГУ, где сток всех сезонов уменьшается за счет водозабора в канал им. Москвы.

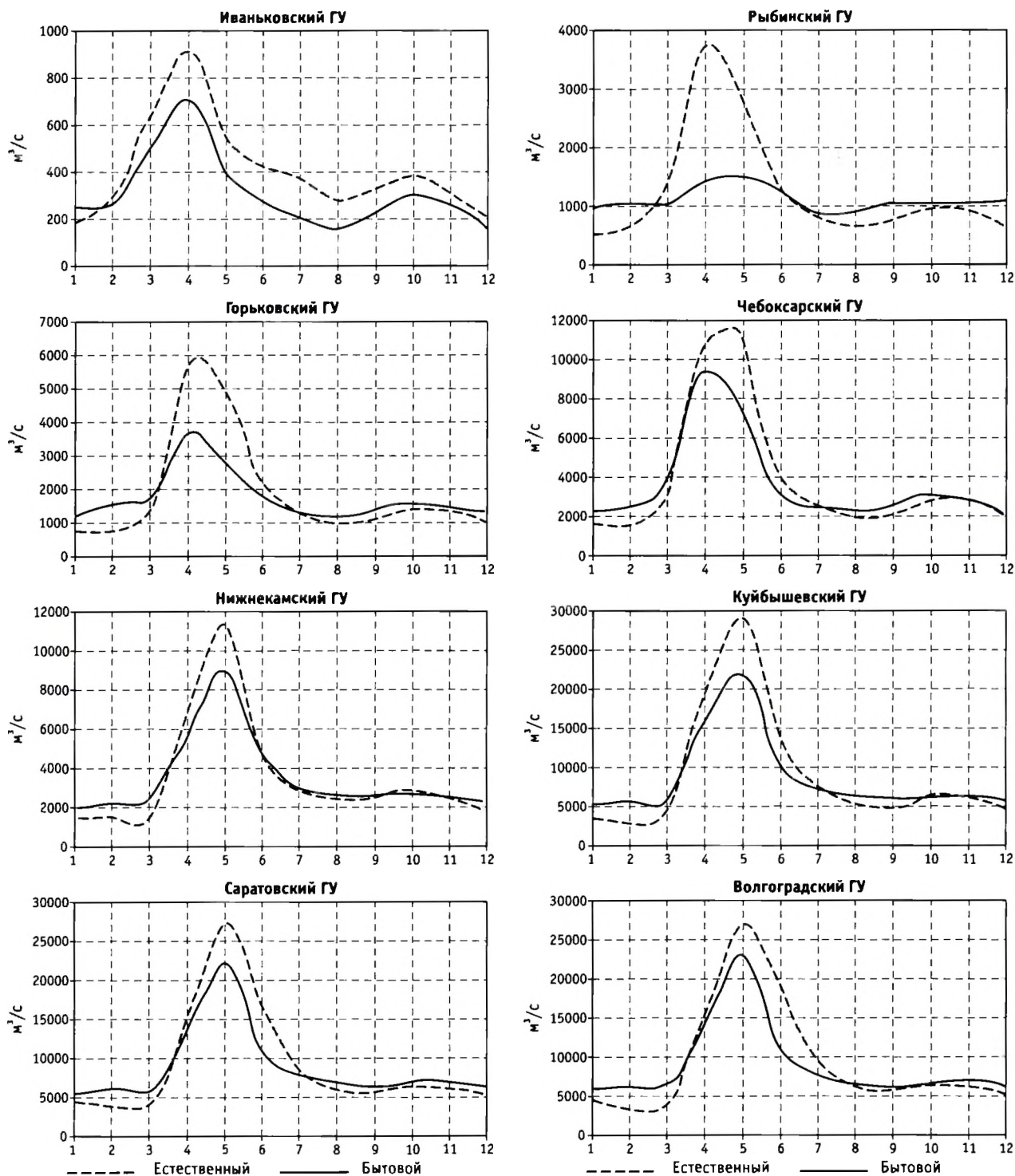


Рис. 9.23. Внутригодовое распределение наблюдаемого и восстановленного естественного стока р. Волга в створах гидроузлов Волжско-Камского каскада

9.3.4.4. Ретрансформация месячных рядов стока больших рек, зарегулированных водохранилищами

С использованием разработанного методического подхода было выполнено восстановление месячных рядов стока больших рек России, зарегулированных водохранилищами. Это позволило сохранить однородность многолетних рядов наблюдений и дать объективную количественную оценку основных статистических характеристик годового и сезонного стока рек. Отметим, что восстановленные стоковые ряды широко используются как при проведении различного рода водохозяйственных расчетов, так и при научных исследованиях. Так, например, многолетние ряды месячного естественного стока являются базовой информацией при разработке Схем комплексного использования и охраны водных ресурсов речных бассейнов.

Выполненные исследования по восстановлению стока больших рек России, зарегулированных водохранилищами, позволяют объективно выявить основные тенденции изменения различных характеристик стока под влиянием хозяйственной деятельности и климатических факторов, а также дать оценку воздействия антропогенных факторов на режим стока в различные по водности годы. В качестве примера на рис. 9.24–9.28 приведены наблюдаемые и восстановленные гидрографы стока Волги, Дона, Кубани, Урала и Оби за многоводные и

маловодные годы, а также осредненные за период эксплуатации водохранилищ.

Анализ результатов показывает, что масштабы и характер влияния антропогенных факторов на внутригодовое распределение стока определяется, прежде всего:

- соотношением объемов полезной емкости водохранилищ, расположенных выше рассматриваемых створов, к годовому стоку в этих створах;
- влиянием комплекса факторов хозяйственной деятельности в бассейне на суммарную приточность к водохранилищам;
- правилами регулирования стока, регламентирующими порядок попусков из водохранилищ в различные периоды года;
- гидрометеорологическими условиями конкретных лет.

Значительные изменения стока произошли на **Нижнем Дону** в результате сооружения Цимлянского водохранилища и интенсивного использования вод в бассейне (см. рис. 9.24). В маловодные годы отмечается практически полное выравнивание стока, а в многоводные годы за счет большой аккумуляющей способности водохранилища максимальный месячный сток уменьшается почти в три раза. Отметим, что полезная емкость Цимлянского водохранилища составляет около 50% от нормы годового стока в створе ст. Раздорской.

Существенное влияние как на максимальные расходы весеннего половодья р. Урал у г. Оренбурга, так и на его объем, оказывает Ириклинское во-

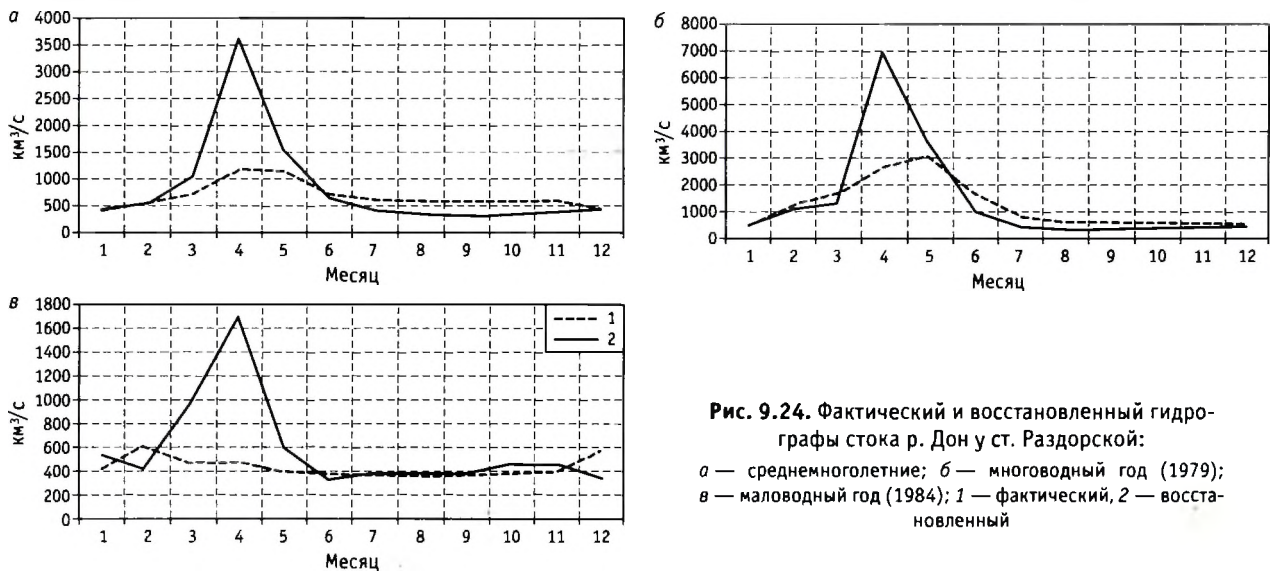


Рис. 9.24. Фактический и восстановленный гидрографы стока р. Дон у ст. Раздорской:

а — среднемноголетние; *б* — многоводный год (1979); *в* — маловодный год (1984); 1 — фактический, 2 — восстановленный

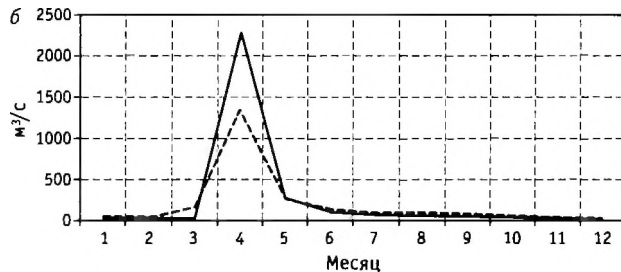
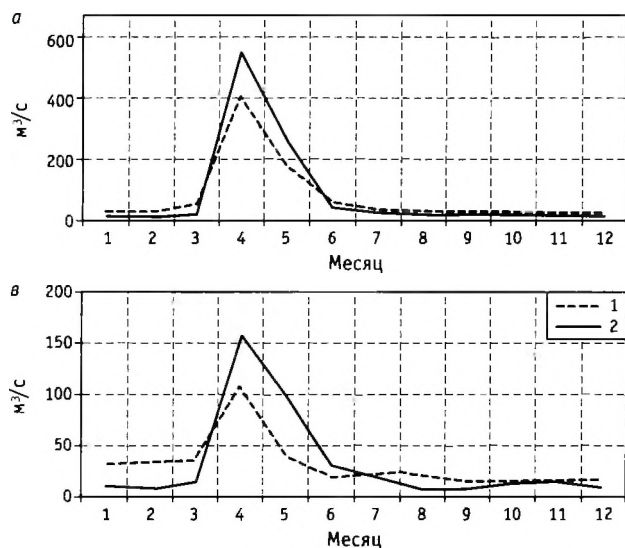


Рис. 9.25. Фактический и восстановленный гидрографы стока р. Урал у г. Оренбурга:

a — среднемноголетние; *б* — многоводный год (1970); *в* — маловодный год (1975); 1 — фактический, 2 — восстановленный

дохранилище (см. рис. 9.25), полезный объем которого составляет ~94% от годового стока в этом створе. Однако, в отличие от Дона, где в маловодные годы сток полностью выравнивается, на р. Урал, несмотря на очень большую регулируемую возможность водохранилища, в весенние месяцы наблюдаются повышенные расходы воды. Это объясняется необходимостью обеспечения водой работы водохозяйственного комплекса ниже по течению реки.

Влияние Волжско-Камского каскада на водный режим **Нижней Волги** в значительной мере определяется водностью конкретных лет. В многоводные

годы работа водохранилищ направлена в первую очередь на срезку высокого стока в целях предотвращения затопления населенных пунктов и хозяйственных объектов, расположенных в Волго-Ахтубинской пойме и дельте. Это хорошо видно по данным о наблюдаемом и восстановленном стоке за 1979 г. (см. рис. 9.26). В маловодные годы основной задачей регулирования стока является поддержание расходов воды в межень, обеспечивающих нормальное функционирование судоходства на участке Волги ниже г. Волгограда, а также пусков, необходимых в зимний сезон для выработки гарантированной электроэнергии на ГЭС. В период ве-

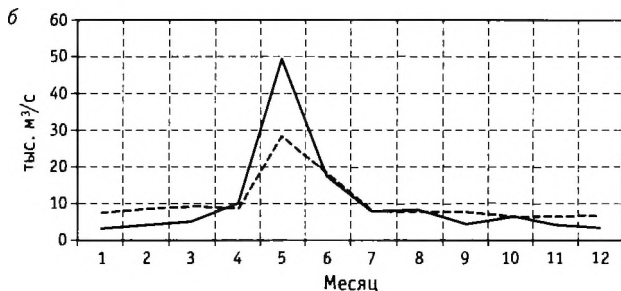
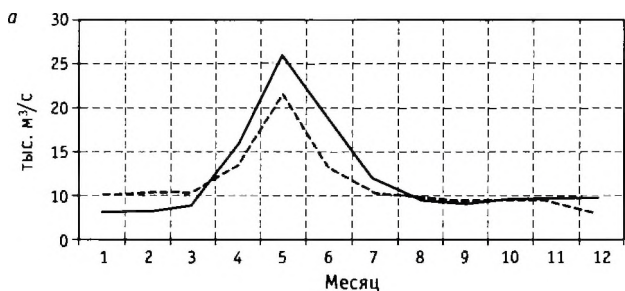
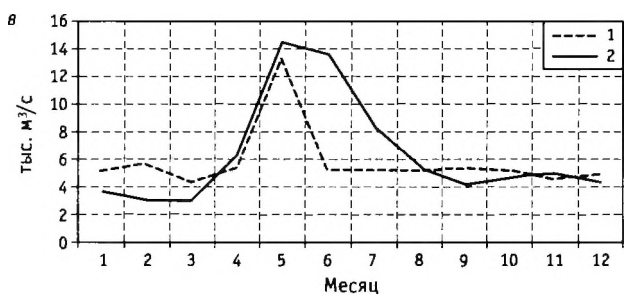


Рис. 9.26. Фактический и восстановленный гидрографы стока р. Волга у г. Волгограда:

a — среднемноголетние; *б* — многоводный год (1979); *в* — маловодный год (1996); 1 — фактический, 2 — восстановленный



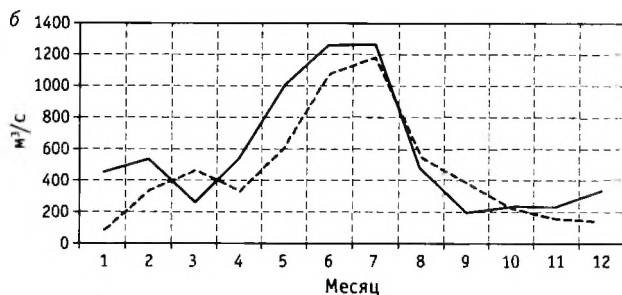
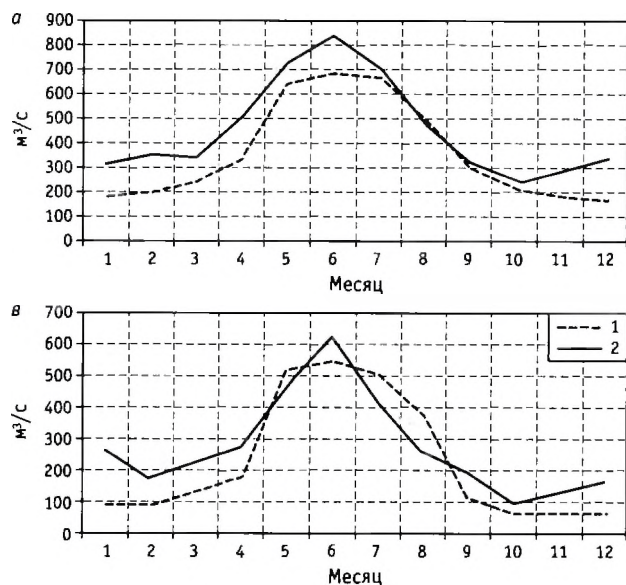


Рис. 9.27. Фактический и восстановленный гидрографы стока р. Кубань у г. Краснодара:

a — среднемноголетние; *б* — многогодный год (1997); *в* — маловодный год (1986); 1 — фактический, 2 — восстановленный

сеннего половодья в отдельные маловодные годы за счет работы водохранилищ может происходить даже увеличение максимальных расходов воды. Это объясняется необходимостью обеспечения рыбохозяйственных попусков.

Изменение внутригодового распределения стока р. Кубань у г. Краснодара определяется как регулирующим влиянием Краснодарского водохранилища, так и в значительной мере влиянием хозяйственной деятельности в бассейне вышерассматриваемого створа. Из рис. 9.27 видно, что фактический сток реки в большинстве месяцев

меньше, чем его восстановленные значения. Это объясняется значительными объемами перебросок стока за пределы бассейна по Большому Ставропольскому и Невинномысскому каналам. Кроме того, специфика регулирования стока Краснодарским водохранилищем состоит в том, что оно, в отличие от большинства других, не увеличивает, а снижает зимний сток на Нижней Кубани, накапливая воду к весне и лету для рыбохозяйственных попусков и оросительных систем.

Изменения стока р. Обь у г. Новосибирска (см. рис. 9.28) по сравнению с рассмотренными

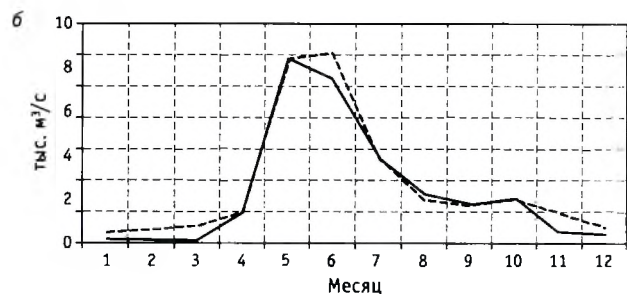
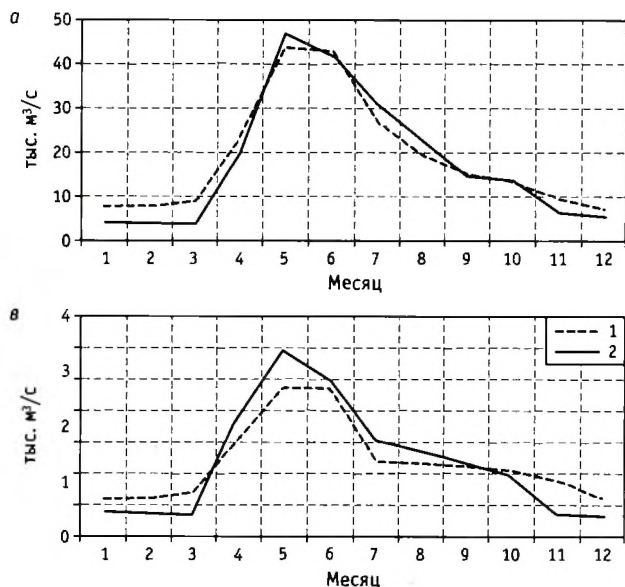


Рис. 9.28. Фактический и восстановленный гидрографы стока р. Обь у г. Новосибирска:

a — среднемноголетние; *б* — многогодный год (1969); *в* — маловодный год (1981); 1 — фактический, 2 — восстановленный

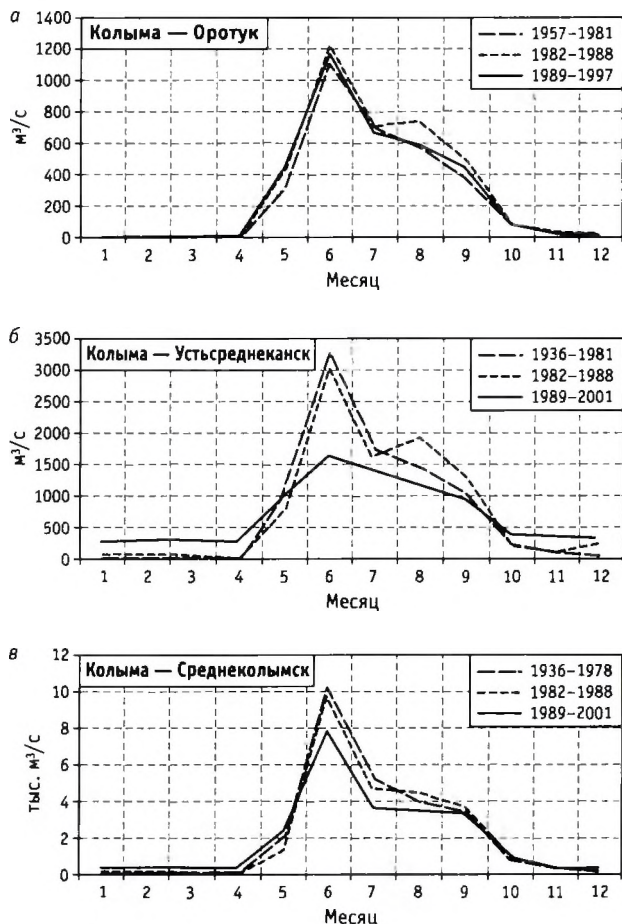


Рис. 9.29. Внутригодовое распределение стока р. Колыма за многолетние периоды времени

выше реками незначительны и характеризуются, прежде всего, увеличением стока в холодный период года. Такие изменения характерны для бассейнов с незначительной регулирующей емкостью водохранилищ. Так, полезная емкость Новосибирского водохранилища составляет всего 8% от годового объема стока в этом створе.

Интересны результаты восстановления естественного стока р. **Колыма**, в верховьях которой в 1982 г. сооружено Колымское водохранилище с полезной емкостью 6,56 км³. С конца 1980-х гг., когда водохранилище стало работать в проектном режиме, регулирующее влияние Колымской ГЭС прослеживается на всем протяжении реки ниже водохранилища, что хорошо видно при сравнении гидрографов стока за характерные периоды времени в створах, расположенных выше и ниже водохранилища (рис. 9.29).

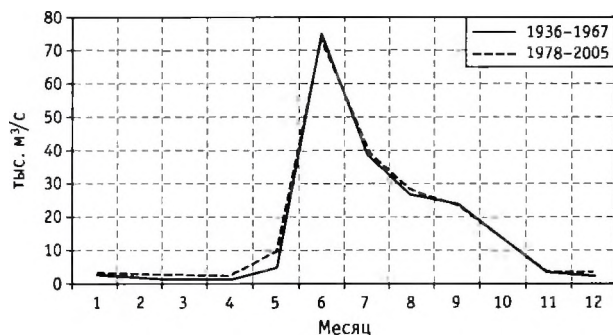


Рис. 9.30. Внутригодовое распределение стока р. Лена у г. Кюсюр за многолетние периоды времени

Аналогичные результаты получены и при оценках изменения водного режима р. **Лена**, на притоке которой реке Вилюй в 1967–1973 гг. построено и введено в строй Вилюйское водохранилище с полезным объемом 17,8 км³, что составляет 3,4% от нормы годового стока в замыкающем створе р. Лена у г. Кюсюр. Следует отметить, что в последние годы в ряде исследований, пренебрегая регулирующим влиянием Вилюйской ГЭС на сток в низовьях р. Лены, современное увеличение зимнего стока по данным наблюдений в замыкающем створе у г. Кюсюр (рис. 9.30) полностью относится на счет влияния климатических факторов. Наши расчеты показали, что увеличение зимних расходов воды (ноябрь — апрель) Лены у г. Кюсюр с 1978 г., когда Вилюйское водохранилище стало работать в проектном режиме, составило в среднем 809 м³/с, при этом на вышерасположенных створах р. Лена — Табага, р. Алдан — Охотский Перевоз и р. Вилюй — Сунтар это увеличение составило соответственно 40, 54 и 711 м³/с (что в сумме составляет 805 м³/с). Следовательно увеличение зимнего стока в низовьях р. Лены более чем на 80% обусловлено именно сбросами воды из Вилюйского водохранилища.

Полученные в результате выполненных исследований данные по естественному (восстановленному) стоку основных рек России, зарегулированных водохранилищами, могут использоваться не только для водохозяйственных расчетов, но и для оценок влияния регулирования стока на гидроэкологические характеристики. Так, с использованием восстановленных гидрографов стока Волги у г. Волгограда за период весеннего половодья была выполнена оценка изменений солености Северного Каспия в результате функционирования ВКК (Георгиевский, 1985), от которой существенно зависит рыбопродуктивность моря.

9.3 5. Водный баланс крупнейших водохранилищ

Изучение последствий создания крупнейших водохранилищ представляет большой научный интерес и имеет важное практическое значение для решения проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов. Основой их решения является изучение закономерностей формирования водных ресурсов водохранилищ, их влияния на речной сток, а также особенностей водного баланса водохранилищ (Вуглинский, 1991).

Воднобалансовые расчеты, как основа количественных и качественных показателей современного и будущего состояния водных ресурсов водохранилищ, является эффективным инструментом для решения водохозяйственных проблем различных административно-хозяйственных территорий: экономических районов, республик, краев и областей, бассейновых округов и водохозяйственных участков.

Наибольший интерес представляют собой оценки водного баланса крупнейших водохранилищ Российской Федерации, объем которых превышает 1 км^3 . Очевидно, что наиболее крупные водохранилища, с одной стороны, вносят наиболее весомый вклад в водные ресурсы страны, а с другой — приводят к существенным изменениям гидрологического, термического и ледового режима природных водоемов и водотоков. Водоохранилища, как аккумуляторы больших водных масс, оказывают комплексное влияние на водосборы речных бассейнов: с одной стороны, они обеспечивают перераспределение водных ресурсов во времени, устраняя природную неравномерность в многолетнем и внутригодовом распределении речного стока на водосборе, а с другой — за счет дополнительных потерь на испарение с поверхности водоемов, влияют на речной сток, снижая его в отдельные лимитирующие периоды.

Источником необходимой гидрометеорологической информации являются воднобалансовые исследования, которые проводятся региональными управлениями Росгидромета на основе данных наблюдений за элементами гидрометеорологического режима на акватории водоема и в его бассейне. Данные по водному балансу большинства крупных водохранилищ страны публикуются в ежегодных и многолетних изданиях Государственного водного кадастра (ГВК).

Расчеты и анализ водных балансов выполнены для 15 крупнейших водохранилищ России, входящих в состав территориальных водохозяйственных комплексов и систем.

В табл. 9.18 приведены основные сведения о крупнейших водохранилищах Российской Федерации: принадлежность к водотоку, место расположения, год(ы) заполнения, полный и полезный объемы водохранилищ, площадь водосбора и расстояние от устья до створа плотины, а также вид регулирования.

Для крупнейших водохранилищ, представленных в табл. 9.18, выполнены оценки средних годовых водных балансов за многолетний период. Для водохранилищ Волжско-Камского каскада результаты расчета представлены в табл. 9.19, а для остальных крупнейших водохранилищ Российской Федерации (Юга ЕТР и Сибири) — в табл. 9.20.

Для оценок выбраны три расчетных периода:

1. С начала ввода в эксплуатацию водохранилища по настоящее время.
2. С начала ввода в эксплуатацию водохранилища до 1980 г.
3. С 1981 по настоящее время.

Таким образом, в зависимости от выбора расчетного периода число лет наблюдений за элементами водного баланса колеблется от 22 до 50 лет.

Для каждого из этих периодов рассчитывались оценки среднего годового водного баланса, включая все основные элементы: общий и боковой приток воды, осадки на акваторию, сбросы предприятий и переброска стока из других бассейнов, сток в створе плотины, испарение и фильтрация, забор воды на хозяйственные нужды, суммы приходных и расходных составляющих.

Второстепенные составляющие (подземный приток и сток, различные аккумуляционные компоненты), вносящие незначительный вклад в общую сумму приходных/расходных составляющих водного баланса, в данной работе не рассматривались. Что касается невязки водного баланса, представляющей собой неизменную ошибку (погрешность) при расчете, то по мере увеличения расчетного интервала она уменьшается за счет взаимной компенсации элементов водного баланса, имеющих разные знаки, а при увязке значений прихода/расхода воды за многолетний период стремится к нулю.

В качестве иллюстрации для всех водохранилищ Волжско-Камского каскада на рис. 9.31 представлено распределение средних годовых объемов ос-

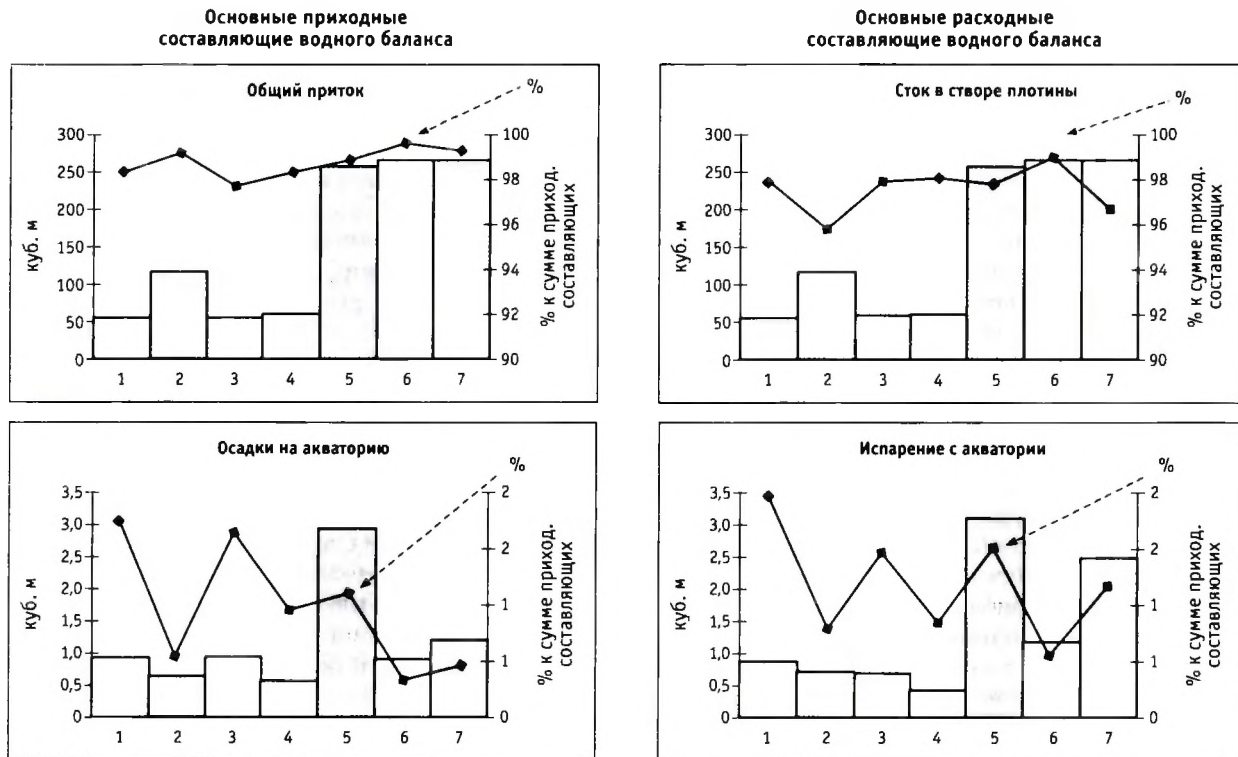


Рис. 9.31. Основные элементы водного баланса для водохранилищ Волжско-Камского каскада:

1 — Горьковское; 2 — Чебоксарское; 3 — Камское; 4 — Воткинское; 5 — Куйбышевское; 6 — Саратовское; 7 — Волгоградское

новых элементов водного баланса, а также их относительные величины (в % от суммы приходных/расходных составляющих), рассчитанные за последние 20–25 лет.

Анализ таблиц 9.19 и 9.20 показывает, что в приходной части водного баланса основная доля принадлежит суммарному притоку речных вод (94–99% от прихода), а в расходной части — стоку в створе плотины или ГЭС (74–99% от суммы расходных составляющих). Доля осадков на акваторию водохранилищ составляет не более 5%, а суммарная доля испарения и фильтрации находится в пределах 2–5%, однако в отдельных случаях она может достигать 15%.

Для водохранилищ, расположенных в южных аридных районах страны, оценивалась доля хозяйственной составляющей водного баланса (сбросы воды, переброска стока, заборы воды на хозяйственные нужды). Для водохранилищ Нижней Волги она составляет не более 1%, причем сбросы и заборы воды имеют примерно одинаковые объемы (табл. 9.19). Для Цимлянского водохранилища забор воды на хозяйственные нужды достигает

11–13%, что сопоставимо или даже несколько превосходит объем потерь воды за счет испарения и фильтрации и резко превышает сбросы воды (табл. 9.20).

Учитывая изменение климата на территории России за последние десятилетия, важно проанализировать изменения основных элементов водного баланса за выбранные расчетные периоды.

Для всех водохранилищ Волжско-Камского каскада прослеживается тенденция увеличения объемов общего притока, стока в створе плотины, и, соответственно, сумм приходных/расходных составляющих примерно на 5–12% относительно объема за период до 1980 г. (так называемый период стационарного климата). Важно отметить, что в водном балансе Волгоградского водохранилища наибольший объем воды — 269 км³/год — фиксировался за последние 25 лет наблюдений, что значительно выше нормы — 253 км³/год — (расчетный период с 1962 по 2006 г.) и за период с 1962 по 1980 г. — 237 км³/год — (табл. 9.19).

Для водохранилищ аридных районов ЕТР (Цимлянское и Краснодарское), водохранилищ Енисей-

Таблица 9.18

Основные характеристики крупнейших водохранилищ Российской Федерации

№ п/п	Наименование водохранилища	Наименование водотока	Место расположения	Период заполнения водохранилища	Объем, млн м ³		Площадь зеркала, км ²	Площадь водосбора в створе гидроузла, км ²	Расстояние от устья реки до створа плотины, км	Вид регулирования
					полный	полезный				
1	Братское	р. Ангара, бас. р. Енисей	Иркутская обл., Усть-Ордынский Бурятский АО	1961–1967	169 300	48 200	5478	757 200	710 до истока	многолетнее
2	Вилюйское	р. Вилюй, бас. р. Лена	Иркутская обл., Республика Саха (Якутия)	1965–1972	35 880	17 830	2176	136 000	1345	многолетнее
3	Волгоградское	р. Волга	Волгоградская и Саратовская обл.	1958–1960	31 450	8250	3117	1 360 000	540	суточное
4	Воткинское	р. Кама, бас. р. Волга	Пермский край, Удмуртская Республика	1961–1964	9360	3700	1120	181 500	566	сезонное
5	Горьковское	р. Волга	Ивановская, Костромская, Нижегородская и Ярославская обл.	1955–1957	8815	2782	1591	229 000	2263	сезонное
6	Камское	р. Кама, бас. р. Волга	Пермский край	1954–1956	12 205	9235	1915	167 200	938	сезонное
7	Краснодарское	р. Кубань	Республика Адыгея, Краснодарский край	1973–1975	1798	1606	400	45 900	240	сезонное
8	Красноярское	р. Енисей	Красноярский край, Республика Хакасия	1967	73 293	30 428	2000	289 000	2378	многолетнее
9	Куйбышевское	р. Волга	Республики Марий Эл и Татарстан, Чувашская Республика, Ульяновская и Самарская области	1955–1957	58 000	34 600	6448	1 210 000	1474	сезонное
10	Новосибирское	р. Обь	Алтайский край, Новосибирская обл.	1957–1959	8800	4400	1070	232 000	2987	сезонное
11	Саратовское	р. Волга	Самарская, Саратовская и Ульяновская обл.	1967–1968	12 870	1750	1831	1 280 000	1040	суточное, недельное
12	Саяно-Шушенское	р. Енисей	Красноярский край, Республика Тыва, Республика Хакасия	1980–1987	31 340	15 300	621	179 900	3013	годовое
13	Усть-Илимское	р. Ангара, бас. р. Енисей	Иркутская обл.	1974–1977	58 930	2740	1922	785 000	1765	сезонное
14	Цимлянское	р. Дон	Волгоградская и Ростовская обл.	1952–1953	23 860	11 540	2702	255 000	327	многолетнее
15	Чебоксарское	р. Волга	Республика Марий Эл, Чувашская Республика, Нижегородская обл.	1982–	4600	—	1080	604 100	1947	сезонное

Средний годовой баланс водохранилищ Волжско-Камского каскада (за многолетний период)

Водохранилище	Расчетный период	Приход						Сумма приход. составляющих	Расход								Сумма расход. составляющих
		приток общий (поверхностный и подземный)		осадки		сбросы воды, переброска			сток в створе плотины		испарение		фильтрация		забор воды		
		км ³	%	км ³	%	км ³	%		км ³	%	км ³	%	км ³	%	км ³	%	
Горьковское	1957–2006	50,1	98,1	0,97	1,9	—	—	51,1	49,8	97,4	0,91	1,8	0,04	0,1	0,37	0,7	51,1
	1957–1980	46,6	97,9	1,01	2,1	—	—	47,6	46,6	97,8	0,95	2,0	—	—	0,6	0,2	47,6
	1981–2006	53,7	98,3	0,94	1,7	—	—	54,6	53,4	97,9	0,87	1,7	0,04	0,1	0,09	0,3	54,6
Чебоксарское	1982–2006	118	99,5	0,64	0,5	—	—	119	118	99,0	0,75	0,6	0,50	0,4	—	—	119
Камское	1956–2005	56,3	98,4	0,94	1,6	—	—	57,2	56,5	98,8	0,73	1,2	—	—	—	—	57,2
	1956–1980	54,7	98,0	0,93	2,0	—	—	55,6	54,9	98,7	0,77	1,4	—	—	—	—	55,6
	1981–2005	57,8	97,8	0,96	1,6	0,34	0,6	59,1	57,8	97,8	0,69	1,2	0,25	0,4	0,36	0,6	59,1
Воткинское	1966–2005	58,7	99,0	0,58	1,0	—	—	59,3	58,9	99,3	0,44	0,7	—	—	—	—	59,3
	1966–1980	55,8	98,0	0,58	1,0	—	—	56,4	55,9	99,1	0,48	0,9	—	—	—	—	56,4
	1981–2005	59,9	98,4	0,58	1,0	0,38	0,6	60,9	59,7	98,0	0,40	0,7	0,35	0,6	0,40	0,7	60,9
Куйбышевское	1957–2006	253	98,8	2,82	1,1	0,34	0,1	256	252	98,4	3,42	1,3	—	—	0,68	0,3	256
	1957–1980	245	98,8	2,73	1,1	0,32	0,1	248	244	98,4	3,74	1,5	—	—	0,60	0,1	248
	1981–2006	261	98,8	2,90	1,1	0,36	0,1	264	258	97,7	3,14	1,2	2,50	0,8	0,80	0,3	264
Саратовское	1969–2006	258	99,5	0,88	0,3	0,52	0,2	259	256	98,9	1,45	0,6	—	—	1,15	0,5	259
	1969–1980	235	99,6	0,80	0,3	0,41	0,1	236	234	99,2	1,19	0,5	—	—	0,85	0,3	236
	1981–2006	268	99,5	0,92	0,3	0,57	0,2	269	266	99,0	1,18	0,5	—	—	1,39	0,5	269
Волгоградское	1962–2006	251	99,4	1,18	0,5	0,34	0,1	253	249	98,3	2,43	1,0	—	—	1,91	0,7	253
	1962–1980	235	99,4	1,12	0,5	0,34	0,1	237	232	97,9	2,32	1,0	—	—	2,33	1,1	237
	1981–2006	267	99,4	1,23	0,5	0,34	0,1	269	260	96,8	2,50	0,9	4,7	1,7	1,6	0,60	269

ского и Ангарского каскадов (Красноярское, Братское и Усть-Илимское) также характерна положительная тенденция: объемы приходных и расходных составляющих выросли в среднем от 1 до 5%.

Исключение составили Новосибирское и Вилюйское водохранилища, для которых наблюдается незначительное уменьшение объемов приходных/расходных составляющих (меньше 1%) относительно средних годовых объемов, рассчитанных за период до 1980 г. (табл. 9.20).

Оценки других элементов водного баланса (осадков, испарения, фильтрации и водохозяйственных составляющих) для различных периодов изменяются незначительно, в пределах точности измерений, и составляют не более 1–2% (табл. 9.19 и 9.20).

Характер изменений объемов приходных/расходных составляющих во времени хорошо прослеживается на хронологических графиках. На рис. 9.32–9.34 для Волгоградского, Камского и

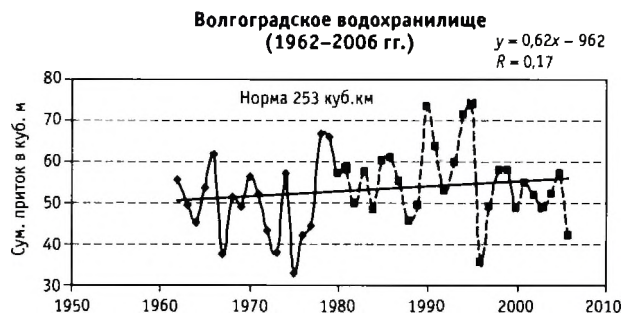


Рис. 9.32. Динамика изменений суммарного притока в Волгоградское водохранилище за период нормальной эксплуатации

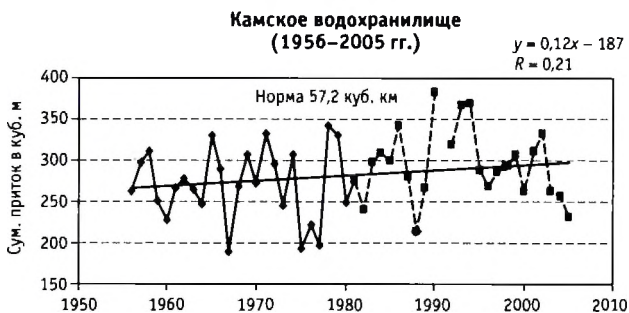


Рис. 9.33. Динамика изменений суммарного притока в Камское водохранилище за период нормальной эксплуатации

Средний годовой баланс крупнейших водохранилищ юга ЕТР и Сибири (за многолетний период)

Водохранилище	Расчетный период	Приход						Сумма прихода составляющих	Расход								Сумма расхода составляющих	
		приток общий (поверхностный и подземный)		осадки		сбросы воды, переброска			сток в створе плотины		испарение		фильтрация		забор воды			
		км ³	%	км ³	%	км ³	%		км ³	%	км ³	%	км ³	%	км ³	%		км ³
Краснодарское	1974–2002	13,0	98,4	0,21	1,6	—	—	13,2	12,9	97,9	0,27	2,1	—	—	—	—	—	13,2
	1974–1980	11,5	98,6	0,16	1,4	—	—	11,7	11,4	97,4	0,27	2,6	—	—	—	—	—	11,7
	1981–2002	13,6	98,3	0,23	1,7	—	—	13,8	13,5	98,0	0,26	2,0	—	—	—	—	—	13,8
Цимлянское	1954–2006	19,4	94,3	1,07	5,2	0,1	0,5	20,6	15,5	75,3	1,99	9,7	0,85	4,1	2,24	10,9	20,6	
	1954–1980	19,3	94,1	1,10	5,4	0,1	0,5	20,5	15,7	76,6	2,23	10,9	0,81	4,0	1,74	8,5	20,5	
	1981–2006	19,8	94,6	1,03	4,9	0,1	0,5	20,9	15,5	74,2	1,81	8,6	0,80	3,8	2,80	13,4	20,9	
Новосибирское	1960–2005	53,3	99,3	0,39	0,7	—	—	53,7	53,2	99,1	0,49	0,9	—	—	0,01	0	53,7	
	1960–1980	55,0	99,3	0,37	0,7	—	—	55,4	55,0	99,3	0,36	0,7	—	—	0,01	0	55,4	
	1981–2005	52,4	99,2	0,41	0,8	—	—	52,8	52,3	99,1	0,46	0,9	—	—	0,01	0	52,8	
Саяно-Шушенское	1981–2005	47,5	99,8	0,14	0,2	—	—	47,6	47,3	99,4	0,29	0,6	—	—	—	—	47,6	
Красноярское	1970–2006	92,7	99,3	0,63	0,7	—	—	93,3	92,1	98,7	1,16	1,3	—	—	—	—	93,3	
	1970–1980	90,2	99,2	0,68	0,7	—	—	90,9	89,4	98,4	1,46	1,6	—	—	—	—	90,9	
	1981–2006	92,7	99,3	0,63	0,7	—	—	93,3	92,1	98,7	1,15	1,3	—	—	—	—	93,3	
Братское	1968–2002	95,5	98,3	1,63	1,7	—	—	97,1	94,9	97,7	2,16	2,3	—	—	—	—	97,1	
	1968–1980	89,1	98,1	1,69	1,9	—	—	90,8	87,0	95,8	2,14	2,4	—	—	—	—	90,8	
	1981–2002	96,7	98,4	1,55	1,6	—	—	98,2	95,5	97,3	2,08	2,1	0,63	0,6	—	—	98,2	
Усть-Илимское	1977–2002	100	99,2	0,77	0,8	—	—	101	100	99,0	0,67	0,7	0,30	0,3	—	—	101	
	1977–1980	89,9	99,2	0,74	0,8	—	—	90,6	90,0	99,3	0,61	0,7	—	—	—	—	90,6	
	1981–2002	102	99,2	0,78	0,8	—	—	103	102	99,0	0,68	0,7	0,31	0,3	—	—	103	
Вилуйское	1974–2005	22,8	97,1	0,69	2,9	—	—	23,5	22,5	95,7	0,84	3,6	0,16	0,7	—	—	23,5	
	1974–1980	23,2	97,0	0,7	3,0	—	—	23,9	23,1	97,0	—	—	0,80	3,0	—	—	23,9	
	1981–2005	22,6	97,0	0,69	3,0	—	—	23,3	22,2	95,2	0,86	3,7	0,16	0,7	0,1	0,4	23,3	

Цимлянского водохранилища приведены хронологические графики суммарного годового притока за период нормальной эксплуатации водохранилища. Прямой сплошной линией на этих графиках представлен линейный тренд притока за рассматриваемый период.

Цимлянское водохранилище (1954–2006 гг.)

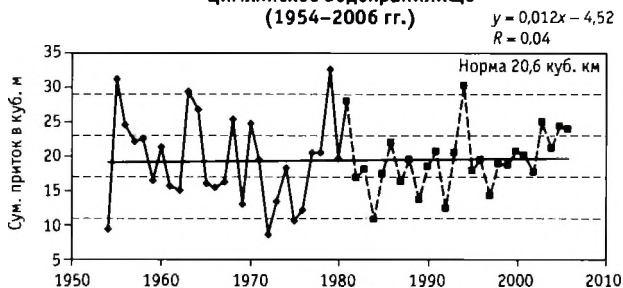


Рис. 9.34. Динамика изменений суммарного притока в Цимлянском водохранилище за период нормальной эксплуатации

Для более детальной характеристики водности расчетных периодов были выполнены оценки модульных коэффициентов притока (k) в крупнейшие водохранилища за отдельные годы, представляющие собой отношение среднего годового притока воды к среднему многолетнему его значению. С учетом значений k все годы из расчетного периода сгруппированы по трем категориям водности: к категории с высокой водностью отнесены годы с $k \geq 1,1$; к средней водности отнесены годы, если $0,9 < k < 1,1$; а к низкой — $k \leq 0,9$.

В табл. 9.21 приведено распределение лет по категориям водности с учетом коэффициента k , рассчитанного для крупнейших водохранилищ и каскадов ГЭС Российской Федерации за два расчетных периода: период условно-естественного стока, так называемый период стационарного климата (до 1980 г.), и за последние 25 лет (после 1981 г.).

Таблица 9.21

Характеристика водности крупнейших водохранилищ России за период «стационарного климата» и за последние 25 лет

Водохранилище/каскад водохранилищ	Расчетный период	Число лет (в %)		
		С высокой водностью ($k \geq 1,1$)	со средней водностью ($0,9 < k < 1,1$)	с низкой водностью ($k \leq 0,9$)
Волжско-Камского каскада (до створа Волгоградской ГЭС);	1915–1980	34	28	38
	1981–2005	65	25	10
в том числе:				
— Верхней Волги (до створа Чебоксарской ГЭС);	1915–1980	33	30	37
	1981–2006	58	23	19
— Камского каскада (до створа Воткинской ГЭС);	1915–1980	37	22	41
	1981–2005	56	38	6
— Куйбышевское водохранилище (боковой приток);	1915–1980	33	32	35
	1981–2006	84	12	4
— Саратовское и Волгоградское водохранилища (боковой приток)	1915–1980	34	27	39
	1981–2006	62	28	10
Краснодарское	1912–1980	31	37	32
	1981–2002	41	32	27
Цимлянское	1876–1980	38	16	46
	1981–2006	19	23	58
Новосибирское	1938–1980	28	30	42
	1981–2005	20	44	36
Ангарского каскада (до створа Усть-Илимской ГЭС)	1932–1980	27	45	28
	1981–2002	35	46	19
Енисейского каскада (до створа Красноярской ГЭС)	1949–1980	20	48	32
	1981–2005	20	55	25
Вилуйское	1932–1980	29	33	39
	1981–2005	72	12	16

Анализ табл. 9.21 показывает, что за последние 25 лет для водохранилищ Волжско-Камского каскада повторяемость лет с высокой водностью ($k \geq 1,1$) значительно возросла по сравнению с повторяемостью, наблюдавшейся в период «стационарного климата»: число лет с высокой водностью по притоку увеличилось в среднем с 34 до 65%, а число лет с низкой водностью понизилось с 38 до 10%.

За последние 25 лет существенные изменения произошли также в характере распределения водности Вилуйского водохранилища: число лет с высокими значениями притока возросло с 29 до 72%, а число лет с низкой и средней водностью понизилось с 36 до 14%.

Наиболее неблагоприятные изменения за последние 25 лет произошли с общим притоком в Цимлянское водохранилище: здесь повторяемость многоводных лет уменьшилась в 2 раза (с 38 до 19%), а повторяемость маловодных лет достигла 58% против 46% для периода «стационарного климата».

Для крупнейших водохранилищ Ангарского и Енисейского каскадов, а также Краснодарского и Новосибирского водохранилищ характер водности за последние 20–25 лет относительно периода «стационарного климата» изменился незначительно.

За последние 20–25 лет существенные изменения произошли также и во внутригодовом распределении отдельных элементов водного баланса крупнейших водохранилищ. Рассмотрим эти изменения на примере сезонного распределения притока воды к водохранилищам, как наиболее значимого элемента водного баланса.

Характер этих изменений для суммарного притока воды к водохранилищам Волжско-Камского каскада и Цимлянского водохранилища показан на рис. 9.35 и 9.36.

Анализ результатов расчетов показал, что за последние 25 лет для рассматриваемых водохранилищ произошло значительное перераспределение притока воды внутри года (см. рис. 9.35 и 9.36).

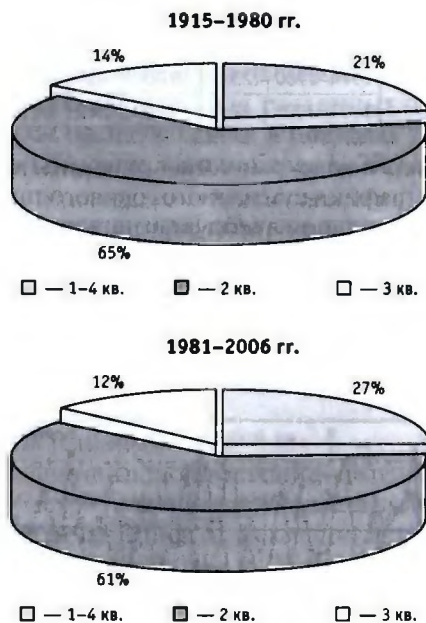


Рис. 9.35. Распределение объема притока воды к водохранилищам Волжско-Камского каскада по кварталам за периоды 1915–1980 и 1981–2006 гг.

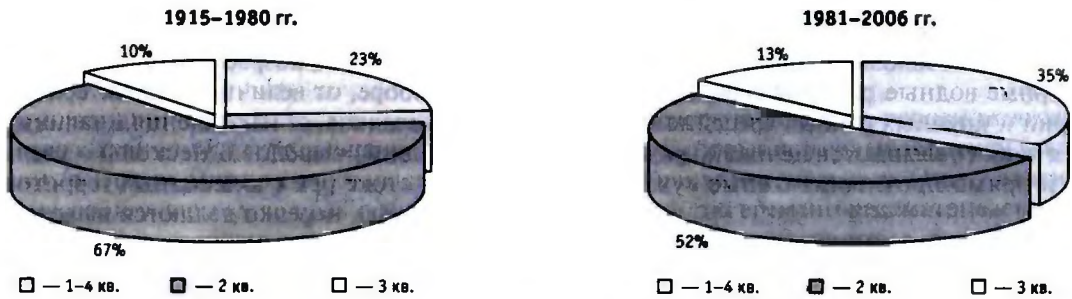


Рис. 9.36. Распределение объема притока воды к Цимлянскому водохранилищу по кварталам за периоды 1915–1980 и 1981–2006 гг.

Так, для водохранилищ Волжско-Камского каскада в осенне-зимний период (I и IV кв.) доля притока возросла на 6%, в период весеннего половодья (II кв.) — снизилась на 4%. Наиболее существенные изменения произошли с притоком в Цимлянское водохранилище: в осенне-зимний период доля притока возросла на 12%; а в период весеннего половодья — снизилась на 15%. В период летне-осенней межени (III кв.) доля притока для рассматриваемых водохранилищ изменилась незначительно, в пределах точности расчетов.

Результаты выполненного анализа могут служить основой для прогноза притока воды в водохранилища на ближайшую перспективу (2010–2015 гг.). Водный баланс крупнейших водохранилищ за последние 20–25 лет претерпел значительные изменения. Для большинства крупнейших водохранилищ характерны повышенные значения основных элементов водного баланса относительно нормы. В отдельных случаях наблюдаются близкие к норме (в пределах допустимой погрешности) значения основных элементов водного баланса. Как показывают исследования (Шикломанов и др., 2007), эти изменения в значительной степени связаны с современными глобальными изменениями климата.

9.4. ВЛИЯНИЕ НА СТОК АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВОДОСБОРАХ

9.4.1. Лесотехнические мероприятия

Среди антропогенных факторов, действующих на речных водосборах, наиболее дискуссионным является влияние на водные ресурсы изменений

лесного покрова в результате вырубок и лесовосстановления. Эта проблема изучается в разных странах мира многие десятки и даже сотни лет. Пожалуй, ни одной гидрологической проблеме не посвящено такое количество публикаций, как этой, и в то же время ни по одной из них не высказываются столь разноречивые суждения и выводы. Особенно большой объем исследований выполнен, начиная со второй половины XX столетия в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности, резким увеличением потребления пресной воды в мире и дефицитом водных ресурсов, массовыми рубками лесов и лесовосстановительными работами, обусловленными, с одной стороны, повышенным спросом на лесоматериалы и древесину, а с другой — постоянно возрастающей ролью лесов, как рекреационного и природоохранного фактора.

Число публикаций по проблеме непрерывно растет. Наряду с многочисленными научными статьями и докладами в различных журналах и трудах, только в последние 25–40 лет опубликован целый ряд обобщающих работ, посвященных гидрологической и природоохранной роли леса, среди которых, прежде всего, следует назвать российские публикации (Молчанов, 1973; Идзон, 1980; Рахманов, 1981; Лебедев, 1982; Соколов, 1982; Крестовский, 1986; Шикломанов, 1989; Книзе, Крестовский, 1994; Карпечко, 2004 и др.).

Следует отметить, что многие важнейшие аспекты гидроклиматической роли леса практически общепризнаны и не вызывают принципиальных дискуссий. Среди них такие, как благотворное влияние леса на микроклиматические условия, на процессы очищения воздуха и воды, водорегулирующие и противозерозионные свойства лесных массивов — все это обуславливает хорошо известную огромную ценность и роль лесов, как мощного природоохранного и рекреационного фактора. При этом, специа-

листами во всем мире дискутируются вопросы влияния леса и лесохозяйственных мероприятий на суммарные водные ресурсы и водный баланс территорий и крупных речных бассейнов: высказываются и обосновываются не только разноречивые, но и прямо противоположные суждения и выводы.

Различные точки зрения по этим вопросам долгое время имели место (да и в какой-то степени имеют до настоящего времени) и среди гидрологов и лесоводов России. Правда, в последние два десятилетия позиции большинства специалистов по рассматриваемым вопросам заметно сблизились. К настоящему времени на основании обобщения теоретических и экспериментальных данных созданы научные основы методов оценки и прогноза влияния лесохозяйственных мероприятий на водный баланс, водные ресурсы и гидрологический режим речных бассейнов. Это дало возможность достаточно надежно количественно оценить возможное воздействие лесохозяйственных мероприятий на гидрологический режим и водные ресурсы речных бассейнов, по крайней мере, для умеренных зон Северного полушария (Shiklomanov, Krestovsky, 1984; Крестовский, 1986; Шикломанов, 1989).

Для оценки влияния лесотехнических мероприятий на сток рек в России в течение многих десятилетий выполнялись комплексные экспериментальные исследования по изучению изменения осадков и испарения на залесенной территории по сравнению с безлесными пространствами, которые и определяют соответствующие изменения характеристик речного стока (Молчанов, 1973; Федоров, 1977; Крестовский, Соколова, 1979; Братцев, 1982; Лебедев, 1982).

На основании этих исследований в целом для территории России и бывшего СССР сделан весьма определенный вывод, что лес положительно влияет на речной сток. Это проявляется не только в отношении большего его регулирования — увеличения меженного стока и снижения максимальных расходов и улучшения качества воды, но и в некотором увеличении суммарного годового стока с залесенных территорий (в среднем в пределах до 10–15% для максимально залесенных хвойным лесом водосборов). В основном это происходит за счет большего накопления снега в лесу при примерно равном испарении с леса и с открытой местности. При этом, для конкретных районов и гидрометеорологических условий отдельных лет соотношения между стоком с лесопокрытой и безлесной терри-

торий могут весьма существенно меняться, и это зависит от вида и возраста леса, его расположения на водосборе, от величин и характера выпадения жидких осадков, от накопления и таяния снега.

Исходя из выводов о несколько увеличенном годовом стоке рек с залесенных территорий умеренной зоны, нередко делаются выводы, что вырубки лесов должны немедленно и неизбежно приводить к уменьшению годового стока рек. Однако, как показал анализ многолетних экспериментальных исследований (Братцев, 1982; Крестовский, 1986; Шикломанов, 1989), такой упрощенный вывод является по меньшей мере некорректным.

Вырубки леса резко и на многие десятилетия изменяют весь комплекс лесных биогеоценозов. На месте старого леса (естественным путем или искусственно) вырастает новый лес. В течение десятков лет жизни нового леса по мере его роста и изменения видового состава непрерывно изменяются гид-

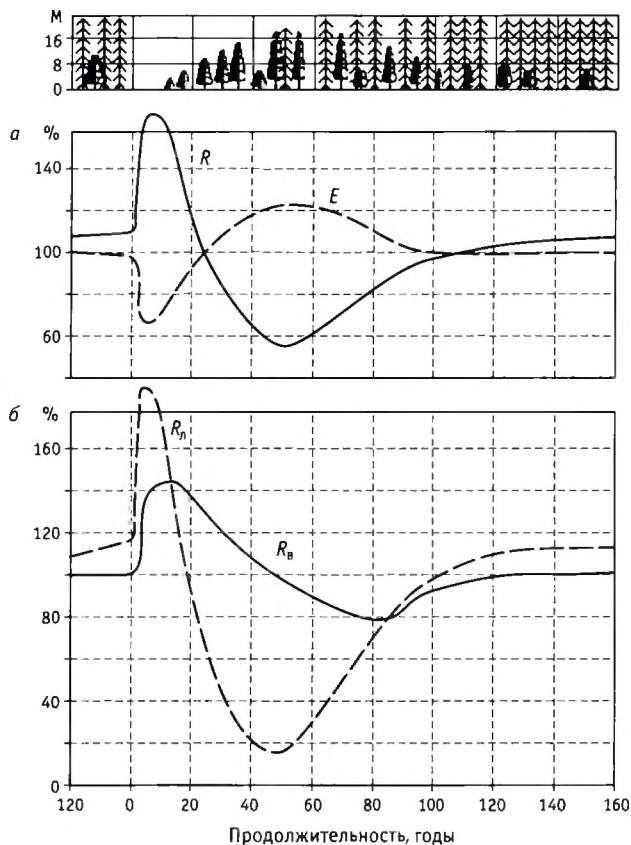


Рис. 9.37. Динамика роста леса (м), изменение испарения (E) и стока (R) (в % от средних годовых многолетних величин): а — годовые значения испарения и стока; б — летний и весенний сток

рологические свойства и водный баланс лесных участков; изменяется и суммарный сток с них в гидрографическую сеть — он может быть и больше и меньше, чем наблюдался до вырубki старого леса. При неизменности осадков это определяется изменениями суммарного испарения, которое, как показали исследования, имеет тесную зависимость от биологической продуктивности леса — прироста древесины и объема фитомассы. Последние параметры не остаются постоянными, а зависят от возраста леса и его видового состава.

Таким образом, по мере роста леса изменяется его видовой состав, испарение и все соотношения между элементами водного баланса. Это можно проиллюстрировать графиками, полученными по результатам экспериментальных исследований и представленными на рис. 9.37.

На рисунке (верхняя часть) показана динамика во времени а) роста леса и его естественного восстановления. После вырубki хвойного леса быстрее растут лиственные породы (береза, осина и т. п.), затем они постепенно отмирают и начинают преобладать хвойные породы (сосна, ель и др.), период жизни которых значительно дольше. Через 120–140 лет после вырубki естественным путем полностью восстанавливается хвойный лес.

На следующем графике — динамика суммарного годового испарения с лесопокрытой территории и годового стока по мере эволюции леса. Сразу после вырубki испарение резко уменьшается (примерно на 30–40%), затем по мере роста б) леса постепенно возрастает. Максимальная величина испарения достигается примерно через 50 лет после вырубki. В этот период на вырубленной территории произрастает смешанный лес с преобладанием лиственных пород; величина испарения с такого леса на 20–25% больше, чем со старого хвойного леса до вырубki. В последующие годы испарение уменьшается, и через 100 лет оно близко к тому, что было до вырубki.

При постоянстве осадков динамика во времени годового стока имеет ход, обратный испарению. Сразу после вырубki сток возрастает (на 50–60%), затем постепенно уменьшается и через 50–60 лет после вырубki имеет минимальные (на 40–50% меньше, чем до вырубki) значения. В последующие годы сток постепенно увеличивается, достигая через 100–120 лет значений, которые были до вырубki. Отметим при этом, что после вырубki лес может восстанавливаться по-разному: или естественным путем (как показано на рис. 9.37), или искусствен-

но, путем посадки. Но принципиально приведенная динамика испарения в зависимости от возраста и вида леса сохраняется.

В связи с изложенным, невозможно однозначно ответить на вопрос: уменьшается или увеличивается сток после вырубki леса. Ответ зависит от того, какой период времени рассматривается после вырубki. В первые 10 лет сток с вырубленной площади резко возрастает (на 50–70%); через 40–60 лет сток с вырубленной территории будет значительно меньше (на 40%), чем до вырубki. В среднем за 100 лет сток будет меньше по сравнению со старым лесом примерно на 10–15%. Приведенные выше выводы, по-видимому, во многом объясняют полученные многочисленными авторами в разных странах мира разноречивые результаты при оценке влияния вырубki леса на сток рек.

Очень важно отметить, что приведенные на рис. 9.37 столь значительные изменения испарения и стока под влиянием вырубki и восстановления лесов относятся к сравнительно небольшому лесному массиву или водосбору, где одновременно (в течение года или нескольких лет) был вырублен весь лес.

На больших площадях лес рубится постепенно и в разных частях крупного лесного массива или речного бассейна. Наивысшая интенсивность рубок леса редко достигает 5% и большей частью составляет 0,7–2% от площади лесов административных районов и речных бассейнов. Поэтому видовая и возрастная структуры леса в крупных лесных массивах обычно представляют собой очень пеструю картину, сглаживающую динамику изменений стока, формирующегося со всей территории: пониженный сток с участков молодого и средневозрастного леса будет в значительной мере компенсироваться повышенным стоком с вырубki и участков старого леса.

В связи с изложенным, как показали практические оценки (Шикломанов, Крестовский, 1989) даже при самых интенсивных вырубках лесов в зонах умеренного климата величины изменений годового стока малых и средних рек за счет этого вида хозяйственной деятельности могут находиться в пределах ± 5 –10%, а для крупных речных систем обычно не превышают ± 1 –2%.

Учитывая приведенные выводы, в оценках антропогенных изменений речного стока крупных рек России и бывшего СССР, выполненных ГГИ (Шикломанов, 1979; 1989), влияние лесотехнических мероприятий на водные ресурсы не учитыва-

лось. По всей видимости, применительно к большим речным системам нет оснований учитывать этот фактор и при оценках антропогенных изменений водных ресурсов на современный уровень и на ближайшую перспективу, тем более, что в соответствии с современными данными интенсивность вырубок лесов по сравнению с 1980-ми гг. не увеличилась и залесенность территории России даже в хорошо обжитых районах практически не уменьшилась. Однако в ряде регионов при оценках на отдаленную перспективу необходимо принимать во внимание возможность уменьшения водности отдельных малых и средних рек в связи с омоложением лесов в результате интенсивных вырубок старых хвойных лесных массивов. На это, в частности, указывали в своих оценках исследователи Братцев, 1982; Крестовский, 1986. Весьма важным при прогнозах на перспективу является и то обстоятельство, что по свидетельствам лесоводов, древостои в последние десятилетия XX в. в лесной зоне европейской части России начали интенсивно развиваться (Книзе и др., 2000); стала резко возрастать продуктивность хвойных древостоев и интенсивность распространения лиственных пород. Вполне можно полагать, что этому явлению в значительной мере способствуют происходящие изменения климата (Крестовский, 2003).

9.4.2. Агротехнические мероприятия

В комплекс агротехнических мероприятий, или агролесомелиораций, направленных на улучшение произрастания сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности, входят зяблевая и противоэрозийная вспашка, снегозадержание, внедрение севооборотов, правильное и своевременное внесение удобрений, борьба с сорняками и т. п., а также защита полей от водной и ветровой эрозии в степных и полупустынных районах, главным образом с помощью полезавитных лесных насаждений.

Распашка земель и проведение комплекса агротехнических мероприятий на обширных территориях могут оказывать многостороннее и сложное воздействие на гидрологический режим, которое прежде всего проявляется в изменении склонового стока. В основных земледельческих регионах мира доля площади, занятой сельскохозяйственными полями и кормовыми угодьями, может достигать 70–80% общей площади водосборов даже достаточно крупных рек (Revenga et al., 1998). Современные агротехнические мероприятия способствуют уве-

личению скважности и проницаемости почв, усиливает инфильтрацию талых и дождевых вод, в результате чего снижается величина поверхностного стока со склонов с одновременным увеличением ресурсов почвенной влаги и созданием более благоприятных условий для питания подземных вод, а также для увеличения испарения и транспирации.

Указанный качественный вывод не вызывает сомнений (во всяком случае для условий лесостепной и степной зоны России) и подтверждается многими исследованиями, однако количественная оценка степени изменения поверхностного стока со склонов и особенно учет влияния этого изменения на режим грунтового и суммарного речного стока определяются множеством разнообразных факторов и представляют собой чрезвычайно сложную задачу. В связи с этим приводимые различными авторами материалы наблюдений нередко относятся к различным условиям и оказываются малосравнимыми между собой, а выводы, которые получаются на их основании, имеют порой довольно разноречивый характер.

Оценка влияния агротехнических мероприятий на склоновой сток базируется, главным образом, на материалах экспериментальных наблюдений на стоковых площадках, логах, временных водотоках, которые в нашей стране были получены еще в конце 1930-х гг. прошлого столетия в южном Заволжье (Поляков, 1939; Кузин, 1946; 1965), в Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории ГГИ (ныне ВФ ГГИ), на Курском стационаре Института географии РАН, а в последующие годы и на воднобалансовых станциях Росгидромета, расположенных в различных природных зонах.

Результаты исследований, приводимые в различных публикациях и обобщенные, в частности, в работе (Водогрецкий, 1979), свидетельствуют о значительном (хотя и существенно различном в количественном отношении) снижении средних значений поверхностного стока весеннего половодья с распаханых склонов или имеющих лесные полосы. Однако, в отношении влияния на величину этого снижения таких факторов, как состав почвогрунтов, уклоны склонов или водность года у многих авторов существуют весьма различные точки зрения.

Например, по данным Львовича (Львович, 1963; 1974; 1980) степень уменьшения стока с полей под влиянием распашки зависит, главным образом, от годовой суммы осадков. В степной зоне, при осадках 350–450 мм, уменьшение склонового стока ко-

леблется в пределах 4–7 раз, в лесостепной зоне, где осадки составляют 450–600 мм, уменьшение стока имеет место в пределах 2–4 раза, в лесной зоне — в пределах 1,3–2 раза. Разумеется, в одной и той же зоне в многоводные годы с большими осадками уменьшение значительно меньше, чем в годы с малыми осадками.

Вместе с тем, экспериментальные исследования ГГИ (Водогрецкий, 1974; 1979) показали на большую роль в снижении поверхностного стока под влиянием агротехнических мероприятий не только общей увлажненности, но и состава почво-грунтов, а также уклонов склонов.

Приведенные данные относятся, в основном, к весеннему стоку, формирующемуся преимущественно при мерзлых почвогрунтах и при относительно малой интенсивности водоотдачи. Что касается склонового стока от интенсивных ливней, то, как отмечают многие авторы (Шикломанов, 1976), с распаханых склонов, особенно с большими уклонами, он может быть значительно большим, чем со склонов, занятых залежью или целиной. Одновременно на распаханых склонах наблюдается повышенный сток наносов, обусловленный водной эрозией. Повышенный поверхностный сток и смыв почвы с распаханых склонов при интенсивной водоотдаче делают необходимым проведение различного рода противозерозионных мероприятий — вспашки по горизонтали, лункования, мульчирования, щелевания, бороздования, террасирования и др., оценке влияния которых на поверхностный сток и водную эрозию посвящено большое количество исследований в нашей стране и за рубежом.

В проблеме влияния агротехнических мероприятий на гидрологический цикл наиболее сложным (и в какой-то степени до настоящего времени дискуссионным) является оценка роли этого фактора в изменении годового стока рек. Дискуссии по этому вопросу ведутся в гидрологической литературе с конца XIX столетия. Анализ основных результатов этой дискуссии приведен в работе (Шикломанов, 1989), где показано, что вот уже более 50 лет среди исследователей сформировались две принципиально различные точки зрения о влиянии агролесомелиоративных мероприятий и повышения урожайности сельскохозяйственных культур на годовой сток рек и общую увлажненность территорий.

Согласно первой точке зрения, развитие агролесомелиоративных мероприятий, уменьшающих поверхностный сток и задерживающих воду на сельскохозяйственных полях, приводит к интен-

сификации просачивания и пополнению запасов влаги в зоне аэрации, которая расходуется лишь частично на подземное питание рек, а в основном на испарение и транспирацию сельскохозяйственных культур, вследствие чего заметно снижается суммарный речной сток не только малых и средних, но и таких больших рек, как Дон, Днепр, Волга. Кроме того, сторонники этой точки зрения полагают, что интенсификация сельского хозяйства и повышение урожайности сельскохозяйственных культур приводят к значительному увеличению водопотребления растениями, а следовательно, и к повышению суммарного испарения в бассейнах и к соответствующему снижению общего стока рек. Отсюда следует общий вывод, что в районах интенсивного неорошаемого земледелия имеет место постоянное истощение водных ресурсов на больших территориях.

В соответствии со второй точкой зрения агролесомелиорация способствует задержанию влаги на полях, но эта влага используется в основном не на испарение, а на пополнение запасов грунтовых вод и увеличение подземной составляющей речного стока. При этом повышение культуры земледелия и увеличение урожайности сопровождаются снижением удельного водопотребления и более экономным использованием воды растениями, в связи с чем общий расход воды сельскохозяйственными полями остается практически неизменным или увеличивается в незначительной степени. Общий вывод состоит в том, что развитие агролесомелиораций и повышение урожайности сельскохозяйственных культур очень незначительно сказываются на годовом стоке средних и больших рек (при этом меженный сток несколько увеличивается) и никак не могут привести к заметному истощению водных ресурсов на больших территориях.

Первая точка зрения в нашей стране сформировалась еще в 1930-х гг. в работах известного гидролога Б. В. Полякова, который, изучая гидрологические условия Заволжья, обратил внимание на сильное уменьшение коэффициентов стока рек (Поляков, 1939). Он объяснил это тем, что после проведения коллективизации и широкого применения глубокой механизированной обработки почв, в том числе зяблевой пахоты, произошло снижение склонового стока и увеличение влажности почв, способствующие созданию благоприятных условий для повышения урожая. Одновременно с этим возросли затраты влаги на испарение и трансформацию, что привело, по данным этого автора, к умень-

шению стока не только малых и средних рек Заволжья, но также Дона и других рек, расположенных в зоне интенсивного зернового земледелия и имеющих большие площади пахотных земель.

Последующие исследования ученых ГГИ показали, что выводы Б. В. Полякова недостаточно корректны. Так, анализируя исходные данные и выводы Полякова, П. С. Кузин (см.: Кузин, 1946) показал, что интенсивное уменьшение стока рек в Заволжье происходило и раньше при других формах ведения сельского хозяйства и что коллективизация и широкое использование машинной пахоты к снижению речного стока не имеют отношения, просто широкое развитие агротехнических мероприятий совпало с естественным маловодным периодом. Б. Д. Зайков, изучая причины падения уровня Каспийского моря с 1933 по 1941 г., установил, что главная причина этого явления — уменьшение стока р. Волга за счет наступления естественного засушливого периода, в частности, в результате уменьшения зимних осадков в зоне формирования стока реки. Влияние же хозяйственной деятельности на сток рек по Зайкову очень мало по сравнению с ролью климатических факторов (см.: Зайков, 1946). Выводы Зайкова полностью подтвердились более поздними исследованиями ГГИ (Шикломанов, 1976).

Несмотря на убедительные выводы П. С. Кузина и Б. Д. Зайкова, в 1950—1960-е гг. концепция значительного уменьшения водности рек при проведении агротехнических мероприятий нашла себе активных сторонников в ИГ РАН в лице известного российского гидролога профессора М. И. Львовича, его учеников и последователей (С. В. Басс, А. М. Грин, Г. В. Назаров и др.), а также Б. А. Аполлова и С. Л. Вендрова.

Согласно Львовичу, существенные изменения гидрологического режима российских рек под влиянием агротехники начались в 1930-х гг. и особенно значительно — в 1950—1960-х гг. в результате широкого применения зяблевой вспашки. По расчетам (Львович, 1963), в результате широкого внедрения зяблевой пахоты уже к началу 1960-х гг. сток р. Дон (водосбор распахан почти на 70%) уменьшился на 13% (по сравнению со средним стоком за период до 1950 г.), а к 1980—1985 гг. за счет улучшения культуры земледелия и повышения урожайности годовой сток должен уменьшиться на 28—30%, водность же ряда притоков Дона уменьшится еще более значительно (на 35—40%).

Применив метод М. И. Львовича для бассейна р. Волга, С. В. Басс пришел к выводу, что уменьше-

ние полного речного стока реки на уровень 1960 г. составило для лесной, лесостепной и степной частей бассейна соответственно 1, 8 и 11% (Басс, 1969). К 1980 г. преобразование водного бассейна выразится в уменьшении стока рек лесной зоны на 5%, лесостепной — на 9—27% и степной — на 26—41%; в целом сток р. Волга под влиянием агролесомелиоративных мероприятий, как считал этот автор, уменьшится на 9%, или на 22 км³/год. Б. А. Аполлов и К. Н. Алексеева также прогнозировал уменьшение годового стока реки к 1980—1985 гг. за счет влияния агролесомелиорации на 15% или на 36 км³/год (Аполлов, Алексеева, 1954).

Для рек Северного Кавказа расчеты по методу Львовича дают уменьшение стока к 1980 г. до 50%, а для рек Украины — до 15—40% (Басс и Жукова, 1969; Назаров, 1969), при этом сток р. Днепр уменьшится на 5%. Анализируя водный баланс Центрально-Черноземных областей, А. М. Грин приходит к выводу, что влияние агролесомелиорации на водный баланс столь значительно, что уже в настоящее время нередко превалирует над естественными природными факторами его формирования (Грин, 1969).

В 1970—1980-е гг. концепция существенного уменьшения водности больших рек под влиянием развития агролесомелиоративных мероприятий находит все меньшее число сторонников. Прежде всего это обусловлено тем, что многочисленные прогнозы в 1950—1960-е гг. значительного уменьшения стока средних и больших рек в районах интенсивного сельскохозяйственного земледелия не находят подтверждения при тщательном анализе имеющихся за многолетний период фактических данных наблюдений за гидрологическим режимом на гидрометрических створах. Действительно, как показали исследования ГГИ (Шикломанов, 1979), к 1970—1980 гг. годовой сток многих южных рек европейской части СССР, в том числе Дона, Днепра, Волги, заметно уменьшился под влиянием хозяйственной деятельности, но эти уменьшения произошли, главным образом, за счет водохранилищ и прудов, орошения, промышленного и коммунального водоснабжения, роль же агротехнических мероприятий и повышения урожайности в этом процессе невелика.

Анализируя данные наблюдений за стоком и определяющими стокообразующими факторами, к аналогичным выводам пришли ученые не только ГГИ, но и многих других организаций в нашей стране и за рубежом. Так, выполненные в Гидрометцентре СССР тщательные детальные исследования

(Рахманов, 1973) с применением методов современного корреляционного анализа гидрологических и метеорологических факторов, а также сведений об урожайности сельскохозяйственных культур в бассейне р. Дон за более чем 80 лет (1883–1965 гг.) не позволили обнаружить заметных изменений стока этой реки, обусловленных агролесомелиоративными мероприятиями и увеличением урожайности в бассейне (годовая урожайность за рассматриваемый период колеблется от 1,5 до 16,4 ц/га, за первые десять лет периода средняя урожайность была 6,1 ц/га, за последнее десятилетие — 13,1 ц/га).

К. Ф. Срибный на основании расчетов водохозяйственных балансов и построения интегральных кривых годового стока по основным рекам Украины пришел к выводу, что рассчитываемое некоторыми исследователями к 1950–1960 гг. уменьшение стока на 15% и предполагаемое его дальнейшее уменьшение к 1980 г. еще на 30% в результате улучшения форм земледелия является завышенным во много раз (Срибный, 1965).

Исследуя динамику годового стока некоторых рек Украины, а также осадков и температуры воздуха в их бассейнах, ученые (Вишневский, Рубцов, 1966) установили, что за 1948–1962 гг. сток рек действительно заметно уменьшился по сравнению с предшествующим периодом, но это произошло в основном не за счет влияния агролесомелиоративных мероприятий, а за счет уменьшения суммы осадков и повышения температуры воздуха в течение зимне-весенних сезонов.

Выводы о незначительном влиянии агротехнических мероприятий на годовой сток рек были получены для различных регионов бывшего СССР (Юнусов, 1967; Кутовой, 1981; Родионов, 1981, Шулипенко, 1982; Булавко, Плужников, 1984). Аналогичные результаты получены в разные годы исследователями и для некоторых стран Европы (Булавко, 1971; Русев, 1970; Коронкевич, 1973; Рахманов, 1971).

Таким образом, приведенные выше результаты расчета и прогноза изменений стока средних и больших рек, выполненные по методике Львовича, чаще всего не подтверждаются анализом фактических наблюдений за стоком и определяющими факторами за многолетние периоды и, как правило, являются завышенными. Видимо, это обусловлено тем, что применяемая методика не в полной мере учитывает различия и особенности формирования стока на распаханых склонах, малых бассейнах и

на больших речных водосборах. Возможные погрешности, вытекающие из распространения данных об уменьшении склонового стока, полученных на стоковых площадях, на речной водосбор в целом, а также другие недостатки методики, используемой ИГАН СССР, довольно подробно рассматриваются исследователями (Бочков, 1965; Кузин, 1965; Рахманов, 1973; Чеботарев, Харченко, 1964).

На основании обобщения имеющихся экспериментальных данных еще в 1963 г. в ГГИ были разработаны нормативы по учету влияния агротехнических мероприятий на сток рек в лесостепных и степных районах тогдашнего СССР (Нормативы... 1963). Согласно расчетам по этим нормативам, агротехнические мероприятия и полезащитные лесонасаждения могут оказывать более или менее значительное влияние на речной сток лишь в условиях засушливых районов и для очень малых водосборов. Для более крупных рек, дренирующих подземные воды, роль склонового стока в формировании общего стока реки уменьшается и влияние агротехнических мероприятий на годовой сток становится незначительным. Выполненные в ГГИ в начале 1970-х гг. расчеты изменений годового стока рек под влиянием агролесомелиоративных мероприятий, основанные на упомянутых нормативах, показали, что на уровень 1970 г. в наиболее освоенных в хозяйственном отношении районах страны уменьшение находится в пределах 1–5% (Воскресенский и др., 1974). Это уменьшение обусловлено некоторым увеличением суммарного испарения на распаханых и освоенных под сельскохозяйственные культуры склонах. Следует отметить, что по исследованиям ряда ученых ИГ РАН, выполненным в 1970-х гг., уменьшение стока рек под влиянием развития земледелия оценивалось, как существенно менее значительное, чем то, которое давалось в 1950–1960-е гг. (Коронкевич, 1973; 1976).

В 1970–1980-е гг. детальные исследования по влиянию агролесомелиораций на речной сток выполнялись в ГГИ под руководством Водогрещко (1974, 1979, 1983). В результате этих исследований предложена методика оценки изменений годового стока рек, основанная на обобщении имеющихся экспериментальных данных по стоку на стоковых площадках и малых водосборах воднобалансовых станций, режимных материалов за уровнями грунтовых вод и сведений по испарению с различных угодий. Методика позволяет рассчитывать изменения склонового стока, запасов подземных вод и суммарного речного стока. Оценка влияния агро-

технических мероприятий на сток по методике Водогрецкого предусматривает учет не только распаханности и водности года, но и характеристик почвогрунтов, уклонов склонов и глубины залегания грунтовых вод на различных угодьях. Отдельно учитывается влияние леса и лесных полос; полученные результаты оценки контролируются независимым расчетом изменения суммарного испарения на водосборах вследствие проведения агролесомелиораций.

До настоящего времени эта методика для количественного учета влияния агролесомелиораций на сток рек является, пожалуй, наиболее обоснованной данными экспериментальных наблюдений на воднобалансовых и стоковых станциях и в общем не противоречит материалам стандартных гидрометрических наблюдений за многолетний период на опорной сети Росгидромета. Основные положения этой методики и результаты ее применения изложены в работе (Шикломанов, 1989).

Величины изменений годового стока крупных рек России и сопредельных стран под влиянием агротехнических мероприятий, рассчитанные по методике Водогрецкого на уровень 1970–1975 гг. и на перспективу до 2000 г., приведены в табл. 9.22.

Таблица 9.22

Уменьшение годового стока рек России и сопредельных стран под влиянием агротехнических мероприятий (по расчетам В. Е. Водогрецкого, 1979)

Река — пункт	F, тыс. км ²	Уменьшение стока, км ³ , %	
		на 1970–1975 гг.	на 2000 г.
Волга — г. Волгоград	1360	<u>2,64</u> 1,0	<u>2,64</u> 1,0
Ока — г. Горбатов	244	<u>0,10</u> 0,3	<u>0,07</u> 0,2
Урал — устье	237	<u>0,6</u> 5,3	<u>1,1</u> 9,6
Дон — г. Георгию-Деж	69,5	<u>0,28</u> 3,5	<u>0,28</u> 3,5
Дон — устье	422	<u>1,52</u> 5,5	<u>1,69</u> 6,1
Днепр — устье	500	<u>2,6</u> 4,7	<u>3,1</u> 5,6
Днестр — устье	72,1	<u>0,20</u> 2,1	<u>0,17</u> 1,8
Южный Буг — устье	63,7	<u>0,23</u> 7,4	<u>0,24</u> 7,7
Обь — г. Новосибирск	252	<u>0,45</u> 0,8	<u>0,45</u> 0,8
Иртыш — устье	1643	<u>2,3</u> 3,1	<u>3,3</u> 4,6

Приведенные величины в среднем близки к значениям, полученным по нормативам ГГИ, 1963. Для рек Волги, Оки и Оби они составляют всего 0,3–1,0% годового стока и на уровень 1970-х гг., и на конец столетия; для остальных водосборов эти значения несколько больше и для отдельных бассейнов могут достигать к концу столетия 7–9%.

Принимая во внимание проблемы в сельском хозяйстве, которые возникли в России и в странах бывшего СССР в период перестройки после 1990 г., а именно: резкое сокращение распахиваемых и засеваемых площадей, снижение потребления органических и минеральных удобрений и в результате значительное уменьшение продуктивности сельскохозяйственного производства более чем на 40% по данным (Думнов, 2003), можно полагать, что приведенные в табл. 9.22 на уровень 2000 г. величины уменьшения годового стока рек за счет комплекса агротехнических мероприятий являются завышенными по меньшей мере вдвое.

Для многих районов мира проблема влияния повышения урожайности сельскохозяйственных культур на общую увлажненность и водность рек является очень актуальной в связи с наблюдаемым и намечаемым в перспективе повышением продуктивности земледелия за счет химизации, селекции и внедрения передовой агротехники. Влиянию урожайности на процессы и объем водопотребления растениями (а следовательно, и на водные ресурсы) посвящено большое число исследований, выполненных в различных странах мира. Обзор и анализ этих исследований приведен в работах (Рахманов, 1973; Шикломанов, 1989); связь водопотребления с урожаем биомассы детально рассмотрена (Алпатьев, 1974).

Согласно результатам многочисленных исследований, повышение культуры земледелия и рост урожайности сопровождается снижением удельного водопотребления и более экономным расходом воды растениями, а также уменьшением непродуктивного испарения с почвы, в результате чего суммарный расход воды сельскохозяйственными полями или остается прежним, или увеличивается весьма незначительно.

Косвенно это подтверждается результатами анализа изменения стока рек, о чем, в частности, свидетельствуют упомянутое выше исследование (Рахманов, 1973) по изменению стока р. Дон в связи с развитием агротехнических мероприятий в его бассейне и повышением урожайности, которые показали, что увеличение за 80 лет урожайности в бас-

сейне более чем в 3 раза заметно не сказалось на водных ресурсах бассейна.

Вместе с тем многие исследователи отмечают, что вопросы количественной оценки изменений испарения и стока при проведении агротехнических мероприятий и повышении урожайности очень сложны, и требуется тщательный объективный анализ и всестороннее обоснование полученных выводов. В какой-то степени эти вопросы до настоящего времени остаются дискуссионными, особенно применительно к особым физико-географическим условиям и специфическим агротехническим мероприятиям.

Анализ результатов исследований, выполненных в различных странах, позволяет сделать только общие приближенные выводы в отношении влияния повышения урожайности на структуру водного баланса водосборов. Исследования показывают, что при прочих равных условиях увеличение биологической продуктивности при низких и средних исходных урожаях сельскохозяйственных культур приводит к существенному увеличению расхода воды на эвапотранспирацию. При высоких исходных урожаях дальнейшее повышение продуктивности практически не сказывается на эвапотранспирации (Алпатьев, 1974). В условиях недостаточного увлажнения потребление воды растениями значительно меньше потребности, и величина эвапотранспирации определяется ресурсами почвенной влаги. В этой зоне при глубоком залегании грунтовых вод непосредственным влиянием роста урожайности на речной сток практически можно пренебречь.

В общем, в районах интенсивного неполивного сельскохозяйственного производства повышение урожайности сельскохозяйственных культур, даже в несколько раз по сравнению с современными значениями, не повлечет за собой существенного увеличения суммарного испарения и истощения водности рек на больших территориях. Тем более это относится к тем большим речным системам, странам и природно-экономическим регионам, где интенсивно используемые сельскохозяйственные земли занимают небольшую долю от общей площади территорий.

9.4.3.осушительная мелиорация

На территории нашей страны болота и заболоченные земли занимают около 160 млн га; из них собственно болот (с глубиной торфа более 30 см),

обладающих большим потенциалом плодородия, по данным (Мелиорация земель... 1964) свыше 50 млн га. Наибольшей заболоченностью характеризуются тундровые и таежно-лесные зоны РФ. В европейской части России они более всего распространены в Северо-Западном ФО и в Нечерноземной зоне Центрального ФО, в азиатской части России — в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. В ряде районов Западной Сибири (Васюганье и Сургутское Полесье) болота занимают до 70% территории. Таким образом, Россия обладает огромными потенциальными возможностями для проведения крупномасштабных осушительных мелиораций.

На территории бывшего СССР начало осушительных мероприятий обычно связывается с работами широко известной экспедиции И. И. Жилинского в Пинское Полесье (1873 г.). К 1913 г. на территории бывшей царской России насчитывалось уже 2,8 млн га осушенных болот, заболоченных и переувлажненных земель. В начале 1920-х гг. непосредственно в пределах РФ имелось всего 426 тыс. га осушенных земель (Мелиорация земель... 1971). В последующие годы были предприняты большие усилия по расширению мелиоративного фонда страны, и уже к 1980 г. площадь осушенных земель возросла до 2 млн га. В дальнейшем площади осушаемых земель постоянно увеличивались: в 1985 г. они достигли 7 млн га, а к началу 1990-х гг. — 7,5 млн га; эта величина остается практически неизменной и до настоящего времени.

С точки зрения экономических последствий и влияния осушения на гидрологический режим и водный баланс территорий важнейшими характеристиками осушительных мелиораций являются площади осушенных сельскохозяйственных угодий и использование их в сельскохозяйственном производстве. На основании анализа материалов, приведенных в многочисленных статистических ежегодниках и сборниках, а также в различных монографиях и статьях, ниже приведена динамика осушения в России, включая осушение сельскохозяйственных угодий и их использование.

На начальном этапе развития осушительных мелиораций различие между наличием осушенных земель и осушенными сельхозугодьями было сравнительно невелико, до 0,5 млн га. Однако в дальнейшем эта разность стала заметно возрастать и к 1990 г. достигла более 2,5 млн га. Площади осушенных сельхозугодий увеличились с 1,6 млн га в 1953 г. до 5,3 млн га в 1990 г.; при этом 70–75% всех осу-

шенных угодий располагалось в Нечерноземной зоне России.

С начала 1990-х гг. мелиоративное строительство пошло на убыль, что повлекло за собой уменьшение площадей осушенных сельхозугодий. К 2005 г. их размеры сократились до 4,8 млн га или на 10% по сравнению с уровнем 1990 г.

Осушенные сельхозугодья, в отличие от орошаемых земель, на протяжении всего периода отличались высоким уровнем их использования (до 92–96%), и лишь к 2005 г. этот показатель уменьшился до 88%. На протяжении всего пути развития осушения состав культур, возделываемых на осушенных сельхозугодьях, оставался относительно стабильным — 50–60% занимали кормовые культуры, под зерновыми было занято 30–35%.

Динамика распределения осушаемых сельхозугодий по федеральным округам России приведена в табл. 9.23.

Таблица 9.23

Распределение площадей осушенных сельхозугодий по федеральным округам РФ (в % от общей площади осушенных угодий в стране)

Федеральный округ	1960	1970	1980	1990	2005
Центральный	58	52	40	39	38
Северо-Западный	17	25	26	30	30
Южный	2	2	1	1	1
Приволжский	5	3	5	7	9
Уральский	1	3	3	3	3
Сибирский	14	4	8	7	5
Дальневосточный	3	13	15	13	14

Свыше 70% всех осушенных сельхозугодий располагается в западной части страны на территории Северо-Западного и Центрального федеральных округов. Меньше всего их имеется в Южном ФО. Распределение осушенных угодий по территории РФ за весь рассматриваемый период изменилось незначительно. Можно лишь отметить увеличение осушенных угодий на Дальнем Востоке и уменьшение в Сибирском ФО.

Применительно к большим речным бассейнам России наибольшее развитие осушение земель получило в бассейнах рек Нева, Северная Двина, Печора, Кама, в верховьях Днепра и Волги, однако по отношению к общей площади водосборов осушенные площади занимают там очень незначительную территорию.

Осушение болот и заболоченных земель, проводимое в больших масштабах и охватывающее зна-

чительные части малых и даже средних речных водосборов, может оказывать заметное воздействие на водный баланс и характеристики речного стока, на экологическую ситуацию на окружающих территориях.

Влиянию осушения на различные характеристики речного стока посвящено огромное количество исследований и публикаций, начало которым было положено в связи с проведением массовых осушительных работ в Полесье, предпринятых еще в конце XIX в. экспедицией И. И. Жилинского. Подавляющая часть этих исследований касалась малых и средних рек Белоруссии, Украины, Прибалтики и Нечерноземной зоны европейской части России. Детальный обзор и анализ результатов этих исследований приведен в работе (Шикломанов, 1989).

Используя материалы многочисленных исследований и проектные данные по перспективному развитию осушительных мелиораций в стране, в 1970–1880-е гг. в ГГИ под руководством С. М. Новикова был разработан воднобалансовый метод и впервые выполнена количественная оценка современных и возможных в перспективе изменений годового стока больших рек под влиянием осушения. Основные выводы по влиянию осушения на сток рек и результаты количественной оценки применительно к большим речным бассейнам РФ приведены ниже.

Влияние осушения на водный режим, водный баланс и, в конечном счете, на окружающую среду проявляется непосредственно на мелиорируемой территории и на землях, прилегающих к осушительным системам, и через них в целом на речных водосборах. Создание осушительных систем путем снижения уровней грунтовых вод приводит к изменению увлажненности почвогрунтов, их водно-физических свойств, режима испарения и транспирации с болотных ландшафтов и прилегающих суходолов. Изменение водного режима болот и заболоченных земель под воздействием осушения обуславливает и изменение стоковых характеристик речных водосборов (годового и сезонного стока, внутригодового распределения и минимального стока). При этом влияние осушения на режим малых и крупных рек из-за различий и их дренирующей способности может весьма существенно отличаться и даже сказывается в разных направлениях.

Если осушительные работы проводятся в бассейнах малых рек, врез русл которых часто сопоставим с глубиной осушительной сети, то в результате осушительной мелиорации водность их может

весьма значительно измениться при практической неизменности стока крупных бассейнов, в состав которых они входят. Но и при одинаковых площадях водосборов осушительная мелиорация по-разному сказывается на водном режиме рек в зависимости от гидрогеологических, почвенных и гидрографических условий водосбора, степени его заболоченности и осушения, типа болот, способа и времени их мелиорации; в одних случаях это влияние незначительно, в других проявляется вполне отчетливо.

На больших и средних речных водосборах, дренирующих все категории подземных вод и являющихся гидрологически замкнутыми, в первые годы после осушения, как правило, происходит заметное увеличение годового и сезонного стока, обусловленное уменьшением суммарного испарения и сработкой запасов подземных вод. В дальнейшем при интенсивном сельскохозяйственном освоении мелиорируемых земель режим стока становится более выровненным, испарение увеличивается, и годовой сток приближается к своему первоначальному значению и может даже несколько уменьшиться. Значения изменений прежде всего определяются масштабом развития осушительных мелиораций и характером сельскохозяйственного освоения мелиорируемых земель.

Выполненные в ГГИ оценки и прогноз до 2000 г. возможных изменений под влиянием осушения годового стока больших рек, где этот фактор хозяйственной деятельности может быть сколько-нибудь значимым (Нева, Северная Двина, Печора, Кама, Волга) показали (Новиков, Гончарова, 1978; 1984), что даже на уровень 1990–2000 гг. эти изменения находятся в пределах десятых и сотых долей процента от нормы годового стока в устье. Естественно поэтому, что в оценках изменений годового стока крупных речных систем России под влиянием комплекса антропогенных факторов этот вид хозяйственной деятельности не учитывался в те годы и тем более не учитывается в настоящее время.

Важно отметить, что использованная для оценки и прогноза расчетная схема пригодна лишь для больших и средних речных водосборов. На малых бассейнах, где глубина осушительного дренажа сопоставима с врезом самих русл, изменение стока может быть обусловлено не только сработкой подземных вод и изменением суммарного испарения, но и нарушением механизма стекания поверхностных и грунтовых вод. Существенное влияние на изменение годового стока малых рек при осушении

болот может оказывать также изменение границ подземных водосборов рек. Степень влияния указанных факторов на сток малых рек может быть различной не только по значению, но и по направленности изменений. Наиболее существенным является влияние осушительной мелиорации на минимальные расходы воды и внутригодовое распределение стока.

Минимальный сток с болотных массивов при их осушении возрастает, что, естественно, приводит и к существенному (до двух раз) увеличению минимального стока рек, в бассейнах которых находятся эти массивы. Влияние осушения на внутригодовое распределение стока малых рек, даже без последующего его регулирования на осушенных территориях, проявляется в выравнивании и более равномерном распределении стока по месяцам и сезонам. При этом степень выравнивания особенно заметна в очень маловодные годы.

9.4.4. Урбанизация

Урбанизация территории оказывает с каждым годом все большее влияние на окружающую среду, поскольку сток с урбанизированной территории в количественном и качественном отношении резко отличается от стока с естественных водосборов. Степень влияния урбанизации на водные ресурсы регионов и режим стока речных водосборов прежде всего зависит от площади урбанизированных территорий, т. е. площадей, которые занимают под строения, дороги, карьеры, линии связи и другие объекты, связанные с урбанизацией.

Динамика урбанизированных территорий весьма различна в разных странах, однако, общая тенденция в мире — непрерывный рост городского населения и урбанизированных площадей. В 70-е гг. прошлого столетия площадь урбанизированной территории на Земле составляла примерно 2% площади суши, или 13% всей интенсивно используемой территории; к началу XXI в. эти площади увеличились примерно вдвое (Куприянов, 1977; WRI, 2000). Для отдельных стран площади урбанизированных территорий колеблются от десятых долей процента до 6–10%. В США площадь, занятая под городами в 1970-е гг. составляла примерно 1,5% всей территории, к настоящему времени эта величина превышает 2%. В Германии, Нидерландах и Дании урбанизировано 6–10% всей территории. Площади, занимаемые крупнейшими городами мира, достигают 1000–2000 км².

В России в настоящее время площадь урбанизированной территории оценивается в среднем в 0,07% от общей площади, в то же время, например, в Центральном ФО, она составляет 1,7%, в Южном — 1,3% (Экономика и жизнь, 2007).

Исходя из приведенных величин, очевидно, что урбанизированные территории вряд ли могут оказывать заметное влияние на количественные характеристики речного стока и водные ресурсы больших речных бассейнов и крупных природно-экономических регионов мира. Однако речной сток средних и особенно малых речных бассейнов, расположенных непосредственно в промышленно-развитых регионах и вблизи крупных городов, претерпевает весьма существенные изменения под влиянием урбанизации, с которыми нельзя не считаться при расчетах различных гидрологических характеристик и оценках качества воды.

Сток с урбанизированной территории в количественном и качественном отношении резко отличается от стока естественных водосборов. Различия в той или иной мере касаются объема годового стока, величин максимальных и минимальных расходов, качества воды, а также соотношений между поверхностной и подземной составляющими стока.

Годовой сток с урбанизированной территории в большинстве случаев значительно больше (в среднем на 10–15%), чем сток в естественных условиях за счет больших осадков и увеличения коэффициента стока. В районах, где речной сток формируется ливневыми осадками, увеличение годового стока с городской территории может достигнуть 100–200%. Значительное увеличение стока происходит также при использовании в городах больших объемов воды, перебрасываемых извне или поступающих из глубоких подземных горизонтов (Куприянов, 1977; 1978; Львович, 1986; Стефенсон, 1986; Rahman, 1989).

Вместе с тем в случаях отведения использованных вод или массового вывоза снега за пределы города, годовой сток с городской территории может быть значительно уменьшенным. То же самое имеет место на малых и средних водосборах, расположенных в зонах депрессионных воронок за счет сокращения подземного притока в реки. Так, по данным (Доброумов и Устюжанин, 1982) годовой сток малых и средних рек на урбанизированных территориях Курской магнитной аномалии и Московского артезианского бассейна на 30–40% меньше стока естественных водосборов.

Наиболее резко урбанизация сказывается на максимальных расходах, объеме и форме гидрографа дождевых паводков. По данным исследователей различных стран, средние максимальные расходы дождевых паводков на малых урбанизированных водосборах за счет увеличения скоростей стекания и повышения стока с малопроницаемых дорожных покрытий и крыш могут увеличиваться в 3–8 раз. При этом наибольшие превышения расходов дождевых паводков на урбанизированных водосборах по сравнению с естественными наблюдаются при малых и средних их значениях. Для ливневых паводков редкой повторяемости различия в максимумах уменьшаются вследствие большей интенсивности выпадающих осадков и меньшей разности в коэффициентах стока с естественной поверхности и с искусственных покрытий (Куприянов, 1977).

С практической точки зрения наиболее важным аспектом влияния урбанизации на водные ресурсы является изменение химического состава и качества воды. В результате сбросов использованных вод в промышленности и коммунальном хозяйстве и ливневого стока в пределах городских территорий образуются большие массы загрязненной воды, обогащенной минеральными и органическими веществами, тяжелыми металлами, которая обычно сбрасывается в реки и озера, загрязняя их на большом протяжении.

В заключение следует отметить, что урбанизация не может заметно сказаться на количественных величинах водных ресурсов больших речных бассейнов и крупных регионов не только за счет относительно малых площадей урбанизированных территорий, но и за счет разной направленности воздействия на годовой сток.

Действительно, горные выработки и крупные водозаборы подземных вод, обуславливая снижение их уровня и создание депрессионных воронок на площадях, достигающих иногда сотен и тысяч квадратных километров, могут оказывать принципиально различное влияние на водный баланс речных бассейнов. При неглубоком естественном залегании грунтовых вод снижение их уровня может заметно уменьшить суммарное испарение в речных бассейнах, а значит, увеличивать сток. С другой стороны, водопонижения могут уменьшить естественную разгрузку подземных вод в речную сеть, что приводит к уменьшению общего речного стока. Помимо этого, водоотведение при горных выработках обычно сопровождается сбросом шахтных вод в реки, что увеличивает сток малых рек (Holda et al., 1989).

Таким образом, горные выработки и эксплуатация водозаборов подземных вод для водоснабжения могут порождать целый ряд факторов, потенциально действующих как в сторону увеличения, так и в сторону снижения естественного речного стока. То же самое относится к сооружению на речных водосборах различного рода промышленных и транспортных объектов, а также урбанизации территории. Следовательно, все перечисленные факторы могут воздействовать в ту или иную сторону только на сток малых рек, иногда — средних, применительно же к величинам водных ресурсов больших речных бассейнов и регионов их влиянием вполне можно пренебречь (Шикломанов, 1979; 1989).

9.5. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Как показано выше (см. разд. 9.1.2), среди факторов хозяйственной деятельности, влияющих на водные ресурсы и водный баланс посредством изменения климатических характеристик, применительно к крупным регионам и речным бассейнам, особое внимание следует обратить на следующие физические процессы:

- возможные изменения климата за счет хозяйственного использования больших объемов пресных вод;
- влияние деятельности человека на газовый состав атмосферы.

Эти аспекты рассматриваются на основании данных об объемах потребления пресной воды в России и в мире в целом и анализа результатов выполненных в последние годы оценок влияния глобального потепления на водные ресурсы крупных речных бассейнов и регионов.

9.5.1. Об изменениях характеристик влагооборота за счет использования пресных вод

Интенсивная хозяйственная деятельность человека может приводить не только к весьма заметным изменениям локального климата на относительно ограниченных территориях, но и способствует поступлению в атмосферу большого количества до-

полнительной влаги за счет более интенсивного испарения по сравнению с условиями естественного гидрологического цикла. При этом с некоторыми допущениями можно полагать, что объем дополнительной влаги, поступающей в атмосферу в результате деятельности человека, соответствует безвозвратным потерям воды на хозяйственные нужды. Следует отметить, что величины дополнительного испарения в мире, которые достигнут в начале XXI в. 2500—2800 км³/год (Shiklomanov, 2004), приобретают уже крупномасштабный характер, тем более, что большая часть их, обусловленная, главным образом, развитием орошения, приходится на засушливые районы, где естественное испарение с суши невелико.

В соответствии с общей теорией влагооборота, дополнительная влага, поступающая в атмосферу, вызовет выпадение дополнительных осадков, которые в какой-то степени могут компенсировать потребление воды на хозяйственные нужды. При этом, учитывая стимулирующий эффект дополнительной влаги, величина дополнительных осадков может быть весьма значительной и для отдельных крупных регионов, имеющих большие массивы орошаемых земель, существенно превышать объемы испарения, обусловленного хозяйственной деятельностью человека. Естественно, что этот эффект может иметь место только для очень больших территорий, для которых коэффициент влагооборота значительно больше единицы, например для континентов Земли и крупных природно-экономических регионов (Калинин, 1969; Дроздов и др., 1976; Шикломанов, 1989).

Приближенная количественная оценка возможных величин изменений осадков и речного стока континентов за счет дополнительного испарения, обусловленного хозяйственной деятельностью на различные расчетные уровни, была впервые выполнена в ГГИ еще в 1970-х гг. и опубликована в работах (Калинин, Шикломанов, 1974; Дроздов и др., 1976; Шикломанов, 1989).

В последующие годы в ГГИ такие оценки были уточнены с использованием новых данных по водопотреблению и воднобалансовым характеристикам, рассчитанным не для континентов, а для значительно меньших по площади природно-экономических регионов мира (Shiklomanov, 2004). В качестве примера приближенные оценки на уровень 2025 г. для регионов мира с интенсивным развитием орошения (где объемы безвозвратного водопотребления особенно велики) представлены

в табл. 9.24. Это регионы, площади которых значительно превышают 1 млн км².

В соответствии с данными таблицы, в результате безвозвратных потерь воды на хозяйственные нужды в ряде регионов в перспективе 2025 г. можно ожидать увеличения суммарных осадков, значительно превышающих соответствующие значения безвозвратного водопотребления.

По дополнительным осадкам ΔP нетрудно ориентировочно подсчитать увеличение среднего годового стока ΔR , используя для этого для каждого региона значения коэффициента стока (α). Как следует из таблицы, для ряда регионов на уровень 2025 г. дополнительный сток может составить значительную долю от объемов безвозвратного водопотребления (до 30–40%) и дать весьма заметную прибавку (до 13%) к суммарным объемам водных ресурсов.

При этом важно отметить, что, учитывая огромные площади регионов, может происходить некоторое перераспределение осадков и водных ресурсов по территории. Дополнительное испарение имеет место над районами с основными орошаемыми массивами, водохранилищами, а дополнительные осадки и сток следует ожидать в других частях регионов, как правило, в горных районах, на главных путях переноса воздушных масс.

Что касается территории России, то при тех объемах безвозвратного водопотребления, которые имеются в настоящее время и даже ожидаются в перспективе, очевидно, что эффект дополнительных осадков будет крайне незначительным и им вполне можно пренебречь.

Это следует и из данных табл. 9.22, где представлены приближенные оценки для огромного региона, включающего южную часть европейской территории бывшего СССР, в том числе республики Закавказья (т. е. бассейны рек Волги, Днепра, Дона, Днестра, Кубани, Терека, Куры и др.), при величинах суммарного безвозвратного водопотребления 97 км³ в год, которые можно ожидать к 2025 г. Для этого региона ожидается величина дополнительных осадков $\Delta P = 46$ км³ в год и дополнительных водных ресурсов 12 км³ в год, что составляет всего 1,9% от суммарных водных ресурсов. На уровень 1995 г., что примерно соответствует современным условиям, величина безвозвратного водопотребления в регионе оценивается в 50 км³ в год (Shiklomanov, 2004) и, очевидно, величины дополнительных осадков и водных ресурсов будут по меньшей мере в два раза меньше; для российской части региона указанные величины еще примерно уменьшаются вдвое, т. е. будут ничтожно малы.

Однако, как следует из табл. 9.24, для таких крупнейших регионов, как Южная и Западная Азия, имеющих постоянно растущие огромные массивы орошаемых земель, изменение режима испарения в результате хозяйственной деятельности может привести в перспективе к весьма существенному преобразованию соотношений между элементами водного баланса в разных частях регионов. Количественная оценка указанных явлений применительно к этим регионам может представить значительный интерес для перспективного планирования

Таблица 9.24

Возможные изменения осадков и водных ресурсов по природно-экономическим регионам мира в районах с развитым орошением под влиянием безвозвратного водопотребления (на 2025 г.)

Регион	№ в таблице	Площадь региона, км ² × 10 ⁶	Суммарные водные ресурсы, R, км ³ /год	Безвозвратное водопотребление на 2025 г., U, км ³ /год	Дополнительные осадки, ΔP , км ³ /год	Коэффициент стока, α	Дополнительные водные ресурсы, ΔR , км ³ /год	$\frac{\Delta R}{U} \cdot 100\%$	$\frac{\Delta R}{R} \cdot 100\%$
Юг Европы	3	1,79	655	117	88	0,33	29	25	4,4
Юг европейской части бывшего СССР, включая Закавказье	5, 20	2,97	646	97	46	0,26	12	12	1,9
Север Китая и Монголия	14	8,29	1029	187	151	0,32	48	26	4,7
Юг Азии	15	6,95	2288	856	607	0,48	291	34	12,7
Западная Азия	16	6,82	490	248	227	0,28	64	26	13,0
Север Африки	9	8,78	181	97	75	0,08	6	6	3,3
Запад Африки	12	6,96	1118	32	50	0,24	12	38	1,1
Восток Африки	11	5,17	775	56	123	0,18	22	39	2,8
Юг Африки	10	5,11	485	31	31	0,11	3	10	0,6
Центр. Америка и Карибы	8	2,67	1110	77	89	0,34	30	39	2,7

крупномасштабных мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

Отметим, что в табл. 9.24 значения величин ΔP и ΔR могут быть несколько завышены из-за следующих принятых допущений:

- дополнительное испарение в результате хозяйственной деятельности не влияет на естественное испарение в регионе;

- безвозвратные потери на хозяйственные нужды приравниваются к дополнительному испарению.

Первое допущение требует пояснений. Действительно, например в бессточных районах, суммарное испарение практически неизменно, поэтому здесь увеличению потерь воды на хозяйственные нужды соответствует такое же уменьшение естественных потерь и никакой дополнительной влаги в атмосферу не поступает.

Кроме того, для некоторых рек, текущих в океан, также возможно некоторое уменьшение суммарного естественного испарения, обусловленного деятельностью человека, например, в результате регулирования стока и уменьшения масштабов и продолжительности затоплений. В этих случаях до определенного уровня использования водных ресурсов безвозвратные потери на хозяйственные нужды в какой-то степени могут компенсироваться сокращением непродуктивного испарения в бассейне (Шикломанов, 1989).

Приведенные обстоятельства могут иметь большое значение для оценки изменений водного баланса отдельных речных бассейнов. Однако ими вполне можно пренебречь при рассмотрении возможных в перспективе изменений водных ресурсов обширных регионов и, тем более континентов.

Второе допущение также не может внести больших погрешностей в расчеты. При использовании воды на нужды промышленности и сельского хозяйства безвозвратные потери складываются из двух частей — затрат воды на дополнительное испарение и объемов воды, входящих в состав готового продукта. При коммунальном водопотреблении также большую часть безвозвратных потерь (более 80%) составляют потери воды на испарение по пути ее от источника до потребителя и обратно (см. выше, разд. 9.2).

С другой стороны, при расчетах ΔP и ΔR принимается допущение, способствующее некоторому занижению получаемого эффекта дополнительно стока, а именно, при расчетах величин ΔR принимается средний многолетний коэффициент сто-

ка, в то время как коэффициент стока от дополнительных осадков должен быть, по-видимому, несколько выше среднего.

Следовательно, представленные в табл. 9.24 значения в целом представляются достаточно реальными, особенно если учесть приближенность прогнозных оценок водопотребления по регионам Земли на перспективу.

Таким образом, рост потребления пресных вод вызовет некоторые изменения в соотношениях между отдельными элементами водного баланса крупных регионов, однако, даже в перспективе они будут весьма незначительными, и это не может привести к сколько-нибудь заметным изменениям глобального климата.

При этом возможные изменения характеристик влагооборота континентов и регионов вполне поддаются расчету и могут учитываться, например, при проектировании крупномасштабных водохозяйственных мероприятий. Указанные изменения достаточно условны, малозаметны, и только специалисты смогут знать о них и учитывать их в своей деятельности.

По своим масштабам несоизмеримо большее воздействие в будущем на характеристики влагооборота и водные ресурсы следует ожидать от глобального изменения климата, обусловленного влиянием человека на газовый состав атмосферы.

9.5.2. Изменение газового состава атмосферы и его влияние на климат и водные ресурсы

Наибольшее беспокойство в отношении возможных в перспективе антропогенных изменений глобального климата вызывает все усиливающееся повышение концентрации в атмосфере Земли CO_2 и малых газовых составляющих (фреоны, соединения азота и т. п.), а также атмосферного аэрозоля. По единодушному мнению климатологов рост концентрации CO_2 является важнейшим антропогенным фактором, способным оказать наибольшее влияние на глобальный климат, особенно в перспективе ближайших десятилетий. Углекислый газ почти прозрачен для коротковолновой солнечной радиации, но значительно ослабляет длинноволновое излучение, создавая так называемый парниковый эффект в атмосфере, способствующий существенному повышению температуры нижнего слоя воздуха. В связи с этим увеличение массы уг-

лекислого газа в атмосфере Земли должно приводить к глобальному потеплению. Такое же действие оказывает повышение концентрации в атмосфере малых газовых составляющих.

Количество CO_2 в атмосфере не остается постоянным, а изменяется под влиянием естественных и антропогенных факторов. Путем непосредственных измерений и использования различных косвенных методов установлено, что в доиндустриальную эпоху (1750 г.) концентрация CO_2 в атмосфере была 280 ppm (0,028% или 280 млн⁻¹ от объема атмосферного воздуха), в 1958 г. она составила 315 ppm, в 1985 г. — 343 ppm, а в 2005 г. достигла 380 ppm. Таким образом, по сравнению с доиндустриальной эпохой концентрация возросла на 36%, причем основной прирост пришелся на последние десятилетия, т. е. интенсивность роста концентрации резко увеличивается.

Главная причина увеличения концентрации CO_2 — хозяйственная деятельность человека: сжигание ископаемого топлива (нефть, газ, уголь) и производство цемента, а также вырубки тропических лесов, что приводит к уменьшению потребления CO_2 растениями при фотосинтезе. Вместе с CO_2 в результате хозяйственной деятельности в атмосферу поступают и другие газы, которые действуют также, как и углекислый газ, усиливая «парниковый эффект». Среди этих газов наиболее важное значение имеют метан и закись азота, их концентрация по сравнению с доиндустриальным уровнем также резко увеличилась: метана — примерно на 150%, закиси азота — на 17%; такого в последние сотни тысяч лет не было никогда (IPCC, 2007).

Несмотря на интенсивно предпринимаемые в последние годы меры по сокращению выбросов в атмосферу «парниковых» газов, их концентрация в атмосфере по всем имеющимся прогнозам будет увеличиваться, по крайней мере, в течение всего текущего столетия. По данным Международной группы экспертов по изменению (МГЭИК) (IPCC, 1995; 2001), к 2020 г. концентрация в атмосфере парниковых газов составит 400–410 ppm, к 2050 г. — 460–550 ppm и к 2100 — 540–590 ppm; т. е. реально можно ожидать удвоения современных концентраций примерно к концу настоящего столетия.

Деятельность человека способствует увеличению поступления в атмосферу не только различных газов, но и малых частиц различных веществ, или аэрозолей, что увеличивает естественную концентрацию аэрозолей в атмосфере. Согласно имею-

щимся оценкам, масса аэрозоля антропогенного происхождения, ежегодно поступающего в атмосферу, в последние десятилетия равна примерно 200–400 млн т, что составляет 10–20% его суммарного поступления в атмосферу (особенно большое количество аэрозоля поступает в атмосферу за счет вулканической деятельности).

Влияние антропогенного аэрозоля на климат весьма сложно и до настоящего времени недостаточно изучено. Однако очевидно, что повышение концентрации аэрозоля в атмосфере ослабляет интенсивность солнечной радиации и способствует понижению температуры воздуха в приземном слое атмосферы, т. е. действие аэрозолей на климат прямо противоположно действию «парниковых» газов.

Важнейшая проблема современной климатологии — каким образом повышение концентрации в атмосфере CO_2 и других «парниковых» газов, а также аэрозолей повлияло на современный климат, и что можно ожидать в будущем. Несмотря на то что инструментальные метеорологические наблюдения в различных частях Земли ведутся почти 200 лет, ответить на этот вопрос нелегко в связи с большой естественной изменчивостью климатических характеристик.

В соответствии с результатами исследований (Jones, 1988; 1994; IPCC, 1996; 2001), глобальная температура воздуха с конца XIX в. повысилась на 0,3–0,6 °С, а 1980–1990-е гг. были самыми теплыми за весь период наблюдений (с 1850 г.). По самым последним данным (IPCC, 2007) средняя температура поверхности Земли увеличилась за последние 100 лет (1906–2005 гг.) почти на 0,74 °С. Сравнение эмпирических и теоретических оценок изменений температуры за последние 100 лет дает основание полагать, что главной причиной произошедшего потепления является рост концентрации в атмосфере CO_2 и других «парниковых» газов, обусловленный хозяйственной деятельностью человека.

Заметное потепление глобального климата, естественно, не означает, что температура воздуха повысилась повсеместно и на одну и ту же величину; тренд изменений очень сильно варьирует от региона к региону; в некоторых регионах изменения практически не обнаруживаются, а имеются даже районы, где в последние десятилетия годовая температура воздуха несколько понизилась (Анисимов, Поляков, 1999; IPCC, 2001).

В перспективе, в условиях роста концентрации «парниковых» газов в атмосфере, глобальная тем-

пература неизменно будет повышаться. Согласно прогнозам МГЭИК (IPCC, 1995; 2001), по отношению к средней глобальной температуре на 1990 г. повышение составит к 2020–2025 гг. 0,3–0,9 °С, к 2050 г. — 0,8–2,4 °С и к 2100 г. — 1,4–5,8 °С. По более поздним данным (IPCC, 2007) при удвоении атмосферных концентраций «парниковых» газов по сравнению с доиндустриальным уровнем это вызовет потепление в пределах 2,0–4,5 °С (в среднем почти на 3 °С).

Столь значительный диапазон возможных изменений обусловлен наличием многих неопределенностей в прогнозировании, связанных, с одной стороны, с ростом мировой экономики при использовании новых технологий, а также с политикой, от которых зависят объемы выбросов в атмосферу «парниковых» газов, а с другой — с недостаточной изученностью влияния на температуру различных факторов (аэрозоля, изменений растительного покрова, океанических процессов и т. п.).

Еще больше трудностей и неопределенностей при анализе изменений осадков, причем не только при прогнозировании на отдельную перспективу, но и при изучении современных трендов. Это обусловлено очень большой временной и пространственной изменчивостью осадков и значительными погрешностями их измерений. Несмотря на это, в последние десятилетия при исследованиях динамики годовых сумм осадков в различных регионах мира получен ряд важных результатов, которые в общем виде опубликованы в материалах МГЭИК и более детально представлены в гл. 12 настоящей монографии (IPCC, 1995; 2001; 2007).

Что касается прогноза изменения осадков на отдаленную перспективу, то здесь имеется особенно много неопределенностей. В целом для Земного шара осадки несколько увеличатся. Используемые независимые подходы дают вполне согласованный вывод, что удвоение концентрации «парниковых» газов в атмосфере приведет к значительному увеличению годовых осадков в высоких широтах; большинство прогнозов распространяют это увеличение и на средние широты. Наибольшие трудности возникают при прогнозе осадков для регионов, расположенных между 30° с. ш. и 30° ю. ш. Здесь прогнозируется или увеличение, или уменьшение осадков, но в общем незначительное по величине (IPCC, 2001; 2007; Georgievsky, Shiklomanov, 2003).

Прогнозируемые в ближайшие десятилетия антропогенные изменения глобального климата вы-

зывают особенно большое беспокойство у специалистов по гидрологии и водному хозяйству. Это обусловлено, во-первых, тем, что гидрологические характеристики особенно чувствительны к климатическим изменениям и немедленно на них реагируют, во-вторых, от изменения водного режима и водных ресурсов во многом зависят условия водоснабжения населения, орошаемого земледелия, различных отраслей промышленности, транспорта, чрезвычайные ситуации и экологическое состояние обширных регионов.

В последние десятилетия учеными многих стран мира опубликовано огромное количество работ, посвященных оценке гидрологических последствий глобального потепления, основные результаты которых обобщены в докладах МГЭИК (IPCC, 1995; 2001; 2007), а также опубликованы в различных обзорах и трудах многочисленных международных конференций, симпозиумов, совещаний, посвященных проблеме «Климат и вода».

Исследования по оценке гидрологических последствий изменений климата ведутся по двум основным направлениям.

Первое заключается в выявлении реакции крупных речных систем, расположенных в разных физико-географических условиях, на изменения климата.

Второе направление исследований связано с оценками гидрологических и водохозяйственных последствий изменений глобального климата ожидаемых в перспективе.

Следует отметить, что исследования по первому направлению очень важны, поскольку позволяют выявить реальные тенденции изменений водного режима по данным наблюдений и наметить практические меры по разработке и осуществлению адаптационных мероприятий. К настоящему времени применительно к отдельным регионам мира получены очень интересные и важные результаты.

Наиболее детальные исследования выполнены для территории России и сопредельных государств (Georgievsky et al., 1995; Vruce et al., 2002; Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003; Шикломанов и др., 2004). Некоторые результаты этих исследований применительно к годовому и сезонному стоку рек России приведены выше, в гл. 5, а для других стран и регионов мира — в гл. 12 настоящей монографии.

Для изучения состояния водных ресурсов в будущем, в частности на уровень 2020–2030 гг., осо-

бенно большое значение имеют исследования по влиянию ожидаемого глобального потепления на годовой сток рек и его внутригодовое распределение. Для таких исследований, естественно, недостаточно прогнозов изменений глобальной температуры воздуха; необходимо иметь региональные прогнозы изменений основных климатических характеристик, оказывающих наибольшее влияние на водные ресурсы и водопотребление в регионе или в бассейне (месячные и сезонные осадки и температуры воздуха). Ввиду отсутствия таких прогнозов для количественной оценки гидрологических последствий в тех или иных регионах и бассейнах используются различные сценарии будущих климатических условий. В большинстве случаев это сценарии, основанные на результатах расчетов по моделям общей циркуляции (МОЦА), а также полученные по материалам палеоклиматических реконструкций климатических эпох прошлого.

В последние 15–20 лет во многих странах выполнено огромное количество исследований по количественной оценке гидрологических последствий глобального потепления в различных регионах мира. Они базируются на самых разных сценариях и гидрологических моделях и охватывают очень большой диапазон изучаемых объектов: от малых экспериментальных водосборов до крупных речных систем и природных зон, континентов и даже Земли в целом. При этом рассматриваются не только характеристики речного стока, но и ледовый режим, наносы, русловые процессы и др.

Ниже, в гл. 11, детально рассматриваются методические подходы этих исследований и полученные результаты применительно к годовому и сезонному стоку основных речных бассейнов России и водным ресурсам отдельных регионов, а в гл. 12 представлен обзор результатов исследований в глобальном масштабе для различных физико-географических зон: холодного и умеренного климата, аридного и семиаридного, влажного тропического.

Результаты этих исследований убедительно показывают, что факторы хозяйственной деятельности, связанные с антропогенными изменениями газового состава атмосферы, в ближайшие десятилетия и особенно за пределами 2025–2030 гг. могут иметь важнейшее значение для оценки состояния водных ресурсов в самых различных регионах мира, в том числе и для территории России, и это необходимо учитывать при разработке крупномасштабных мероприятий по водообеспечению и охране окружающей среды.

9.6. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

9.6.1. Оценки, выполненные в 1970-е и 1980-е годы

Как уже указывалось выше, антропогенные факторы начали оказывать заметное влияние на водные ресурсы больших рек где-то с 1950-х гг. прошлого столетия, однако, различные аспекты проблемы влияния хозяйственной деятельности на речной сток в нашей стране и за рубежом с давних пор привлекали внимание многих исследователей. Еще в 1920-е гг. крупнейший ученый-гидролог В. Г. Глушков одной из важнейших, перспективных задач гидрологии считал изучение влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный баланс. По мнению ученого, по мере экономического и социального развития общества и преобразования окружающей среды гидрологическая наука будет все более превращаться в «гидрологию от человеческой деятельности».

С конца 1920-х и до начала 1970-х гг. в России был выполнен широкий комплекс исследований по влиянию различных видов хозяйственной деятельности на речной сток: водохранилищ и прудов, агротехнических мероприятий, леса и его вырубок, болот и их осушения; проведены крупные исследования по оценке и расчету элементов водного баланса озер и внутренних морей, водно-солевого баланса орошаемых земель; организованы постоянно действующие водно-балансовые станции и проведены экспедиционные работы в различных регионах страны, которые накопили ценнейшие экспериментальные данные, необходимые для изучения влияния антропогенных факторов на водный режим и разработки методов их оценки и прогноза.

Вместе с тем, несмотря на имеющиеся достижения, изученность проблемы влияния хозяйственной деятельности на речной сток в целом была явно недостаточной для надежных количественных оценок, тем более, прогнозов изменений гидрологического режима для реальных бассейнов, находящихся в различных физико-географических условиях. Выводы по влиянию многих видов хозяйственной деятельности на сток оставались противоречивыми, дискуссионными и не могли быть использованы в практических целях. К тому вре-

мени не было выработано единых методических подходов к учету и прогнозу влияния деятельности человека на сток рек, находящихся в различных физико-географических условиях, и, что самое главное, не могло быть дано оценок происшедших и ожидаемых в перспективе антропогенных изменений стока основных рек страны и притока во внутренние моря, которые позволили бы подойти к оценке динамики водных ресурсов страны в целом. А именно эти данные потребовались в 1970-е гг., когда стали разрабатываться долгосрочные перспективные планы развития народного хозяйства, в том числе отраслей, требующих большого количества воды (главным образом, орошения). Со всей остротой были поставлены проблемы перспективного водообеспечения народного хозяйства, регионального перераспределения и управления водными ресурсами, начались работы по Генеральной схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов страны на 1990–2000 гг.

Гидрологическая наука в те годы не была готова ответить на все многочисленные вопросы, возникающие при этих разработках. Ученые вели жаркие дискуссии по влиянию различных видов хозяйственной деятельности на речной сток, а водохозяйственная практика требовала однозначных количественных оценок не только того, как изменился сток наших главных рек, но и каким он будет в перспективе при осуществлении намечаемых долгосрочных планов развития народного хозяйства страны.

Ввиду отсутствия надежных научнообоснованных выводов по изменению речного стока под влиянием хозяйственной деятельности, планирование водохозяйственных мероприятий в стране стало базироваться, в основном, только на данных водохозяйственных балансов речных бассейнов и экономических районов. В этих балансах естественные ресурсы речного стока различной обеспеченности сравнивались с водозаборами и безвозвратными потерями воды на хозяйственные нужды, которые, по существу, из-за весьма ориентировочных данных по водопотреблению и практически полного отсутствия таковых по водоотведению, представляли собой чаще всего лишь требования, заявки потребителей на воду и далеко не всегда характеризовали фактическое изменение стока рек под влиянием хозяйственной деятельности (Шикломанов, 1976; 1979).

Исследования по влиянию хозяйственной деятельности на речной сток в начале 1970-х гг. были

включены в план важнейших работ Государственного комитета СССР по науке и технике, и сразу же широкий комплекс исследований по этой проблеме был развернут под руководством автора настоящего раздела в ГГИ и во многих других организациях. Исследования велись применительно к основным речным бассейнам бывшего СССР и касались, в первую очередь, годового стока, как основной характеристики, определяющей объем и дефицит водных ресурсов в тех или иных районах.

Основные задачи исследований сводились к следующему:

- разработка общих методических подходов к оценке происшедших и прогнозу ожидаемых в перспективе изменений годового стока больших рек;

- разработка конкретных методов оценки влияния всего комплекса и отдельных видов хозяйственной деятельности на сток в различных физико-географических условиях;

- количественная оценка динамики происшедших изменений стока главных рек, притока во внутренние моря и суммарного речного стока страны в целом под влиянием всего комплекса и отдельных видов хозяйственной деятельности;

- прогноз антропогенных изменений стока рек на перспективу в соответствии с имеющимися долгосрочными планами развития народного хозяйства и для различных климатических условий.

К 1976 г. был сделан значительный шаг в решении указанных задач. В ходе исследований были разработаны единые принципы комплексной оценки влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек страны, в основу которых было положено, во-первых, широкое использование материалов многолетних наблюдений на опорной сети Росгидромета по стоку рек, осадкам, температуре воздуха и другим естественным метеорологическим факторам, определяющим колебания стоковых характеристик; во-вторых, данные по динамике развития различных видов хозяйственной деятельности в бассейнах рек; в-третьих, материалы экспериментальных воднобалансовых станций и экспедиций. Для реализации указанных принципов были рекомендованы конкретные методические приемы количественной оценки изменений стока под влиянием комплекса факторов хозяйственной деятельности для рек, расположенных в различных физико-географических условиях. Одновременно были разработаны и усовершенствованы воднобалансовые методы оценки влияния на сток отдельных видов хозяйственной деятельности.

Выполненные методические разработки дали возможность в 1975–1976 гг. произвести приближенную количественную оценку антропогенных изменений на современном этапе и на перспективу годового стока всех основных речных бассейнов бывшего СССР. Значения происшедших изменений стока были рассчитаны за период с 1936 по 1975 г. включительно, в среднем за пятилетние периоды, а на период с 1976 по 2000 г. были даны прогнозные оценки влияния на годовой сток отдельных видов и всего комплекса факторов хозяйственной деятельности. Основными объектами исследований и расчетов были приняты водосборы рек Волги, Днепра, Дона, Днестра, Кубани, Урала, Терека, Сулака, Куры, Амударьи, Сырдарьи, Или, Печоры, Северной Двины, Невы, Западной Двины, Оби, Енисея, Лены и Амура, имеющих наибольшее хозяйственное значение для нашей страны. Результаты расчетов и прогнозов анализировались и обобщались применительно к бассейнам внутренних морей и природно-экономическим регионам. Для 12 водосборных зон интенсивного хозяйственного использования (Волга, Днепр, Дон, Днестр, Кубань, Урал, Терек, Сулак, Кура, Амударья, Сырдарья и Или) оценка происшедших изменений стока была выполнена параллельно двумя взаимонезависимыми методическими приемами: 1) путем использования водно-балансовых методов расчета безвозвратных потерь воды в бассейне на тот или иной вид хозяйственной деятельности и 2) путем применения статистических методов, основанных на совместном анализе многолетних колебаний стока на гидрометрических створах и определяющих их естественных стокообразующих факторов. Для остальных водосборов расчеты выполнялись на основании использования только методов дифференцированной оценки, так как антропогенные изменения их годового стока заведомо невелики и не выходят за пределы точности вычисления гидрологических характеристик на гидрометрических створах.

При прогнозных оценках антропогенных изменений стока на перспективу до конца столетия в качестве основных исходных данных в 1973 г. был использован имеющийся в то время один из вариантов возможного развития страны, считающийся наиболее надежным и разработанный проектными и научными организациями в составе работы «Научно-технического прогноза рационального использования и охраны водных ресурсов СССР на период до 2000 г.». Указанный прогноз предполагал, в частности, рост населения к 2000 г. до 325–

350 млн человек (вариант минимум — максимум), увеличение валовой продукции промышленности по сравнению с 1970 г. в 6,5–7,5 раз, сельского хозяйства — в 2,7–3,1 раза, рост производства электроэнергии более чем в 8 раз, увеличение удельных норм водопотребления городского населения в среднем по речным бассейнам со 165–250 л/сут на человека в 1970 г. до 500–690 л/сут в 2000 г.

Площади регулярного орошения планировалось увеличить к концу столетия до 28–32 млн га (в 1970 г. было 11 млн га), в том числе в РФ — до 11–13 млн га (в 1970 г. было 2 млн га). Несмотря на то что прогноз 1973 г. в общем предусматривал в перспективе некоторое снижение удельных норм водопотребления за счет более экономного использования воды в промышленности, теплоэнергетике и при орошении, тем не менее предполагался очень интенсивный рост общего объема водопотребления в стране с 240 в 1970 г. до 460–490 км³ в 1985 г. и до 570–720 км³ в 2000 г. и объема безвозвратного водопотребления, соответственно, со 108 до 274–283 и до 315–385 км³.

Прогнозные оценки ГГИ для каждой реки были даны в среднем за 5–10-летние периоды для средних климатических условий и для экстремальных условий, т. е. для исключительно сухих, жарких (влажных, холодных периодов) в районе основного использования водных ресурсов каждого бассейна. Основные результаты расчетов и прогнозов антропогенных изменений годового стока основных рек СССР, выполненные в 1975 г., приведены в работах (Шикломанов, 1976; 1979), а для российских рек зоны интенсивного использования показаны в разд. 9.6.2 на рис. 9.43 и 9.44.

Уже по истечении 10 лет после прогнозных оценок 1975 г. стало очевидным, что заложенные в них темпы развития экономики страны, в том числе наиболее водоемких производств и, прежде всего, роста орошаемых площадей, оказались чрезмерно завышенными. Разработанная Минводхозом СССР в 1983 г. и откорректированная в 1985 г. «Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР до 2000 г.» основывалась на варианте развития экономики страны и, прежде всего, основных водопотребляющих отраслей, который коренным образом отличался от варианта, лежавшего в основе прогнозных оценок 1975 г.

Основные отличия заключались, главным образом, в более экономном использовании воды во всех отраслях экономики, меньшими темпами развития орошения, особенно в районах с ограничен-

ными водными ресурсами, одновременно с резким снижением удельного водопотребления на орошение, повышением к. п. д. оросительных систем, широким внедрением систем оборотного водоснабжения в промышленности и теплоэнергетике, переходом в ряде отраслей на безводную технологию. Так, по прогнозам 1985 г. предполагался рост орошаемых площадей к 2000 г. до 26 млн га, увеличение общего объема водопотребления в стране до 430–450 км³/год, а безвозвратного — до 250–260 км³/год (в 1987 г. эти величины составили соответственно 360 и 200 км³). Естественно, что столь существенные различия в планах развития водного хозяйства страны до конца столетия, заложенные в прогнозные оценки 1975 и 1985 гг., не могли не сказаться на итогах прогнозирования антропогенных изменений стока рек СССР на уровень 2000 г.

В связи с этим в ГГИ была выполнена корректировка прогнозных оценок ожидаемых изменений годового стока основных речных бассейнов страны под влиянием хозяйственной деятельности на период до 2000–2010 гг. Эти оценки были получены с использованием тех же методических подходов, что и в исследованиях 1978 г., но на основе новых перспективных планов развития экономики страны. Использованные методы детально изложены в монографии (Шикломанов, 1989) и в общем виде в разд. 9.1–9.4 настоящей главы. В той же монографии даются результаты оценок для всех речных бассейнов бывшего СССР.

Результаты, полученные для рек России с интенсивной хозяйственной деятельностью (Волга, Дон, Кубань, Терек и Сулак) представлены ниже вместе с их анализом и сопоставлением прогнозных оценок до 2000–2010 гг. с современными данными об изменении речного стока (см. рис. 9.43 и 9.44).

Даже не видя этих результатов, вполне можно полагать, что перспективные оценки, выполненные в 1985 г., не могли и не должны были оправдаться в условиях, когда, начиная с 1990-х гг., вместо планируемого интенсивного экономического развития рухнула вся социально-экономическая система, практически развалилась страна, почти вполнину сократилось промышленное и сельскохозяйственное производство. Все эти процессы еще не закончились до настоящего времени, и уровень развития основных водопотребляющих отраслей в стране еще далеко отстает от уровня 1985–1990 гг..

Важно отметить, что прогнозные оценки изменения водности рек под влиянием антропогенных факторов на отдаленную перспективу имеют услов-

ный характер, поскольку их результаты в очень большой степени зависят от планов развития основных водоемких отраслей экономики, и они вообще не должны оправдаться, если эти планы не реализуются. Тем не менее такого рода оценки очень важны для планирующих органов и для лиц, принимающих решения, поскольку они показывают, к каким последствиям для наших рек могут привести долгосрочные планы чрезмерно интенсивного развития водоемких отраслей экономики и, таким образом, могут стать основанием для принятия мер по предотвращению возможных особо неблагоприятных последствий. Таким образом, можно полагать, что прогнозные оценки изменений водности рек на отдаленную перспективу являются основанием для корректировки перспективных планов размещения водоемких производств, сокращения темпов развития орошения, разработки комплекса мероприятий по более экономному использованию водных ресурсов, охране их от истощения и загрязнения.

Помимо результатов количественных оценок антропогенных изменений стока основных рек бывшего СССР, исследования ГГИ, выполненные в 1970–1980-е гг., позволили получить новые научные выводы в отношении процессов воздействия деятельности человека на гидрологический цикл, которые нашли полное подтверждение в исследованиях, выполненных в последующие годы.

Первый вывод касается особенностей динамики стока в связи с развитием орошения. Как показали исследования, для целого ряда крупных речных бассейнов, расположенных в южных районах бывшего СССР, в зоне традиционного развития орошения (Амударья, Сырдарья, Кура, Или и др.), рост безвозвратных потерь воды на орошаемых землях до определенного предела может компенсироваться снижением непродуктивного испарения в бассейне и тогда, даже при больших дополнительных потерях воды на орошение, не происходит уменьшения общей водности реки в замыкающем створе.

Выполненный автором настоящего раздела в 1980-е гг. анализ результатов исследований влияния орошения на сток южных рек не только позволил приблизительно оценить компенсационные ресурсы в их бассейнах, но и показал, что они, прежде всего, зависят от объема общих потерь водных ресурсов в бассейне, представляющих собой разность суммарных водных ресурсов бассейна и среднего годового стока реки в устье. Указанное положение хорошо иллюстрируется данными, представленными в работе (Шикломанов, 1988), для ряда крупных рек

южной зоны бывшего СССР. Отметим, что даже ориентировочная оценка максимальных компенсационных ресурсов бассейна крайне важна для прогноза изменений стока в устье в связи с планируемым развитием хозяйственной деятельности в бассейне. Она показывает пределы возможности увеличения безвозвратного водопотребления в бассейне без уменьшения суммарного годового стока в устье.

Для рассматриваемых рек наибольшие компенсационные ресурсы имели место для Амударьи и Сырдарьи (соответственно 26 и 10 км³/год), что дало возможность развивать орошение в бассейне Аральского моря до 5 млн га без заметного уменьшения притока и падения его уровня. Для районов избыточного и достаточного увлажнения компенсационные ресурсы чрезвычайно малы, и их можно не учитывать при прогнозе антропогенных изменений речного стока. Следует отметить, что для большинства крупных водосборов южной зоны бывшего СССР компенсационные ресурсы были исчерпаны еще в 1960–1970-е гг., и на всех реках в последующие годы наблюдается уменьшение речного стока практически пропорционально росту безвозвратного водопотребления.

Другой важный научный вывод, полученный в результате исследований в 1970-е гг., сводится к тому, что для всех водосборов в условиях жаркого и сухого теплого периода года (а это чаще всего совпадает с малой водностью) абсолютное уменьшение стока под влиянием хозяйственной деятельности оказывается значительно большим, чем в холодные и достаточно увлажненные годы, причем разница может быть весьма значительной. Ярким примером этого положения может быть бассейн р. Урал, для которого в маловодные годы, когда водные ресурсы бассейна крайне малы, уменьшение стока за счет испарения с водохранилищ в 5–8 раз больше, чем в многоводные, влажные годы (Шикломанов, 1979). Для очень больших водосборов, охватывающих различные природные зоны, этот эффект не столь велик, но также весьма значителен, и его нельзя не учитывать при антропогенных оценках изменений стока рек на перспективу.

9.6.2. Современные оценки антропогенных изменений стока рек

Количественные оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на годовой сток российских рек выполнены за период с 1950–1960-х гг. по 2005 г. включительно.

Для оценок использованы следующие основные исходные данные за период с начала 1960-х гг. по настоящее время: объемы водопотребления на нужды промышленности (в том числе теплоэнергетики), коммунального хозяйства, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения, численность городского и сельского населения по субъектам РФ и бассейнам рек; величины орошаемых и фактически поливаемых площадей, их распределение по территории бассейнов, состав поливаемых сельскохозяйств, объемы поливов в различные годы и в разных частях бассейнов, осушаемые площади и их использование, водные балансы крупнейших водохранилищ, гидрометеорологические характеристики (годовой и месячный сток рек, осадки, температура воздуха) и т. п.

Указанные данные получены из самых разных источников: из статистических ежегодников, справочников и различного рода обобщений по водопотреблению в промышленности и в сельском хозяйстве по регионам и по стране в целом, из публикаций Государственного водного кадастра, из официальных Государственных докладов об окружающей среде и состоянию водных ресурсов в стране и в различных регионах, из периодических публикаций различных министерств и ведомств, из многочисленных статей и монографий, в том числе опубликованных в самые последние годы (Антропогенные воздействия... 2003; Раткович, 2003; Данилов-Данильян, 2006; Демин, 2005; 2007 и др.). Для анализа широко использовались материалы и полученные в ГГИ в 1970–1980-е гг. результаты оценок происшедших и ожидаемых в перспективе изменений годового стока основных рек бывшего СССР (см. литературу в конце настоящей главы).

Для оценки динамики изменений годового стока рек под влиянием отдельных видов и всего комплекса факторов хозяйственной деятельности за период 1960–2005 гг. использованы, главным образом, методические подходы, разработанные в ГГИ в ходе комплексных исследований, выполненных в 1970–1980-е гг., и изложенные в монографиях (Шикломанов, 1976; 1979; 1988; 1989), а также в различных Методических рекомендациях, Указаниях и Руководствах, подготовленных в ГГИ. В кратком виде они представлены выше, в разд. 9.1–9.5 настоящей главы.

Количественная оценка антропогенных изменений годового стока за период с 1960 по 2005 г. выполнена для пяти российских рек, в бассейнах которых наиболее развита хозяйственная деятель-

ность, способная оказать существенные влияния на годовой сток в замыкающих створах; это бассейны рек Волги, Дона, Кубани, Терека и Сулака, Оби. Объем водопотребления в бассейнах этих рек составляет две трети от общего объема российского водопотребления, здесь сосредоточено более 70% орошаемых земель страны.

На рис. 9.38–9.42 для каждого бассейна представлены основные факторы хозяйственной деятельности, определяющие воздействие на годовой сток реки, и рассчитанные количественные оценки уменьшения стока в устье под влиянием всего комплекса антропогенных факторов. Уменьшение дано по сравнению с периодом условно естественного стока (до 1935 г.). На рисунках пунктиром приведены и приближенные оценки на перспективу до 2020 гг. на основании данных, изложенных ниже, в гл. 11.

Все данные на рисунках осреднены за пятилетние периоды, при этом оценки изменений стока за

период до 1975 г. приняты по данным ГИ 1975 г. (Шикломанов, 1979).

Для бассейна р. Волга выполнена наиболее детальная оценка влияния на сток самых различных факторов хозяйственной деятельности с выявлением роли каждого фактора в отдельности. На рис. 9.38 для бассейна р. Волга представлены в динамике за многолетний период данные по суммарному водозабору на хозяйственные нужды, в том числе на нужды промышленности, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения, городского населения, а также рассчитанные величины снижения годового стока реки под влиянием всего комплекса антропогенных факторов. Последние данные получены путем суммирования потерь воды в бассейне, обусловленных следующими факторами: безвозвратным водопотреблением при водообеспечении промышленности, сельского и коммунального хозяйства; агротехническими мероприятиями, сооружением и эксплуатацией водохранилищ и

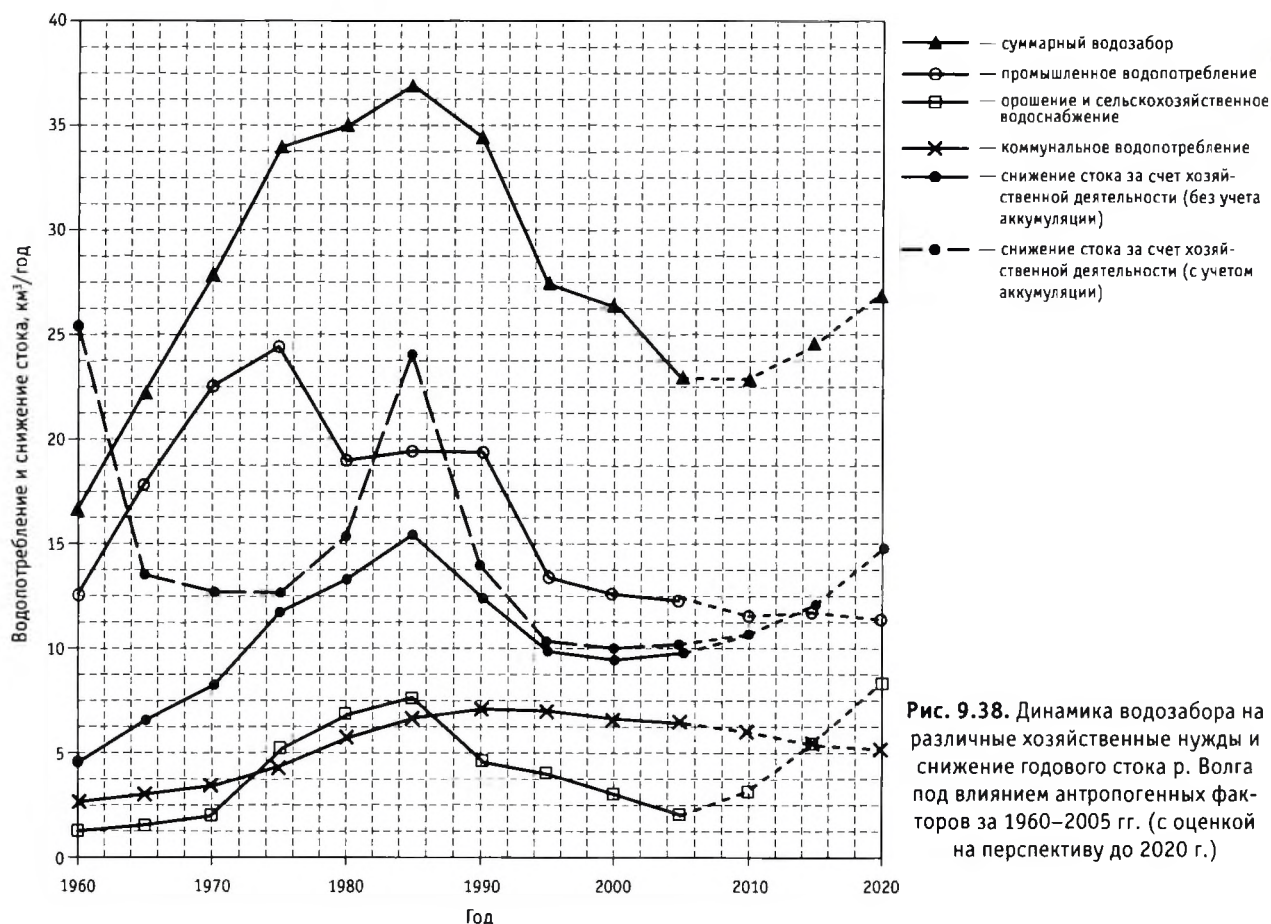


Рис. 9.38. Динамика водозабора на различные хозяйственные нужды и снижение годового стока р. Волга под влиянием антропогенных факторов за 1960–2005 гг. (с оценкой на перспективу до 2020 г.)

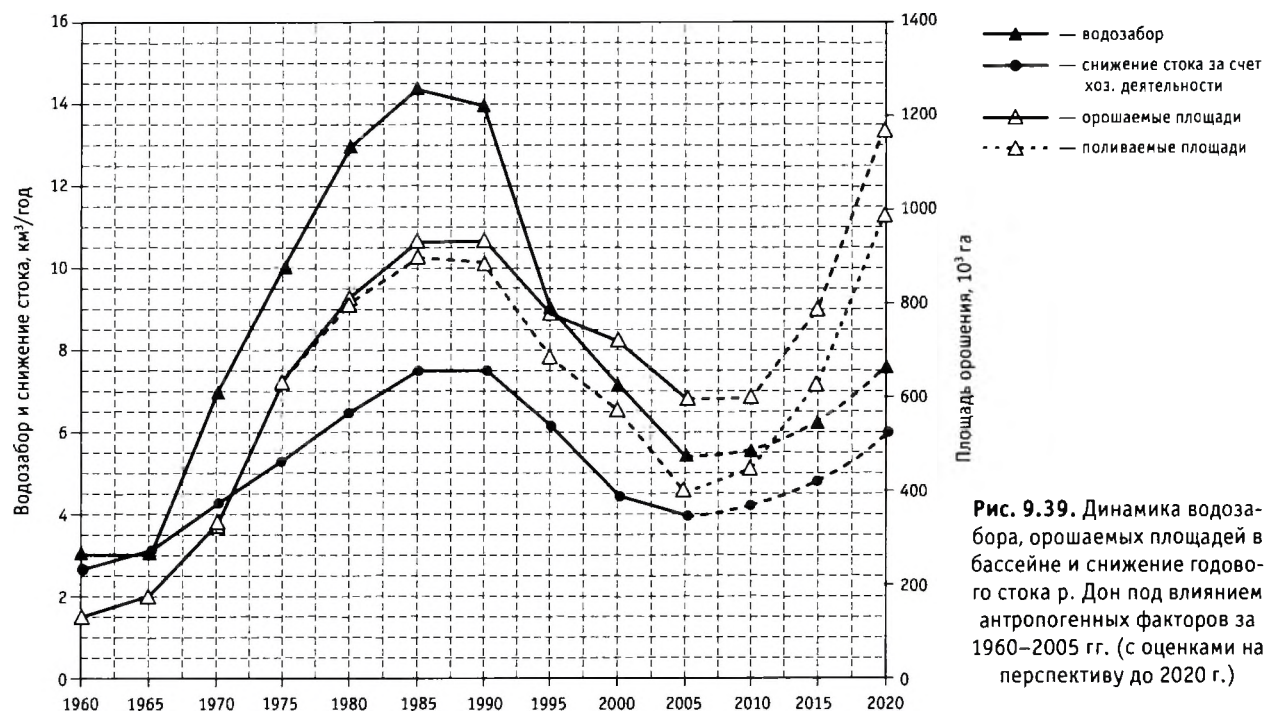


Рис. 9.39. Динамика водозабора, орошаемых площадей в бассейне и снижения годового стока р. Дон под влиянием антропогенных факторов за 1960–2005 гг. (с оценками на перспективу до 2020 г.)

прудов. При этом влияние водохранилищ Волжско-Камского каскада учтено в виде двух характеристик — дополнительными потерями на испарение с зон затопления и подтопления (этот фактор действует постоянно, пока существуют водохранилища) и затратами воды на аккумуляцию в период заполнения водохранилищ и увеличения запасов подземных вод на прилегающих территориях. При расчетах изменений стока р. Волга учитывается приток воды из других бассейнов — переброска стока из бассейна Мсты по Вышневолоцкой системе и поступление небольших объемов воды из р. Дон по Волго-Донскому каналу; учитывается также уменьшение потерь воды на испарение в Волго-Ахтубинской пойме и дельте Волги в результате регулирования стока реки водохранилищами Волжско-Камского каскада.

В соответствии с данными рис. 9.38, наибольшее уменьшение стока р. Волга имело место в периоды 1956–1960 гг. и 1981–1985 гг., когда оно составляло, соответственно, 26,0 и 24,0 км³/год или примерно 10% от водных ресурсов бассейна. В первый период оно на 80% было обусловлено заполнением водохранилищ Волжско-Камского каскада, во второй — роль этого фактора составляла всего треть от общего снижения стока, а наибольший вклад (52%) давали затраты воды на нужды сельского хозяйства

и потери на дополнительное испарение с водохранилищ и прудов.

Если исключить временные факторы — заполнение ложа водохранилищ и пополнение подземных вод, которые уменьшают сток в замыкающем створе, но не влияют на суммарные водные ресурсы бассейна*, то наибольшее снижение годового стока реки происходило в период 1981–1985 гг., когда оно составляло 15,7 км³/год (6,2% от естественных водных ресурсов) и на 92% было обусловлено затратами воды на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства и потерями на дополнительное испарение с водохранилищ и прудов.

После 1985 г. роль хозяйственной деятельности в изменении стока реки заметно уменьшилась и в последние 10 лет она обуславливает снижение стока на 9,5–10 км³ в год (≈4% от водных ресурсов); при этом потери на дополнительное испарение составляют 6,5 км³, затраты на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства — 4,6 км³, уменьшение потерь на испарение в низовьях реки оценивается в 1,5 км³, которое в значительной мере компенсируется притоком из других бассейнов

* Здесь имеет место переход одного вида водных ресурсов речного стока в другие — запасы воды в русловой сети и в подземных горизонтах.

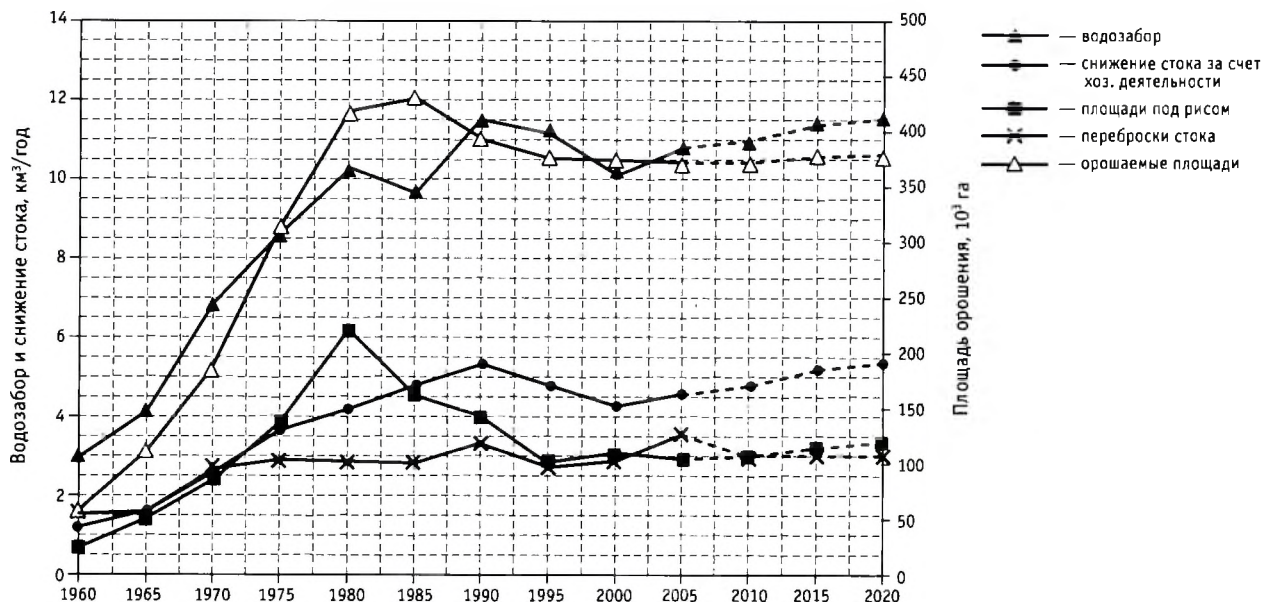


Рис. 9.40. Динамика водозабора, орошаемых площадей в бассейне и снижение годового стока р. Кубань под влиянием антропогенных факторов за 1960–2005 гг. (с оценками на перспективу до 2020 г.)

(1,1 км³); влияние агротехнических мероприятий на сток оценивается в 1,3–1,5 км³.

Данные по бассейну р. Дон (суммарный водозабор, орошаемые и поливаемые площади, суммарное снижение стока) представлены на рис. 9.39. Наибольшее антропогенное снижение стока в этом бассейне имело место в период с 1980 по 1990 г. и составляло 7,5 км³ в год (26% водных ресурсов). Главным образом это было обусловлено затратами воды на орошение, дополнительными потерями воды на испарение с водохранилищ и прудов, безвозвратным водопотреблением на нужды промышленно-коммунального и сельскохозяйственного водоснабжения. В современных условиях роль антропогенных факторов в снижении стока реки уменьшилась почти вдвое и составляет 4,0 км³/год (14% водных ресурсов). Это снижение произошло за счет резкого уменьшения потерь воды на орошение и промышленно-сельскохозяйственное водоснабжение.

В бассейне р. Кубань (см. рис. 9.40) за период с 1980 по 2005 г. снижение стока за счет антропогенных факторов в общем остается довольно стабильным и колеблется в пределах 4,3–5,4 км³/год, что составляет 31–39% водных ресурсов бассейна. Главным образом, это зависит от объемов переброски стока за пределы бассейна, которые в отдельные годы достигают 3,5–4,0 км³, и от затрат воды на

орошение, особенно при орошении посевов риса, площадь под которыми в отдельные годы составляет более половины всех орошаемых площадей.

Динамика основных антропогенных факторов изменений стока, приведенная на рис. 9.41, дана суммарно для рек Терека и Сулака, поскольку зоны использования стока в их бассейнах можно рассматривать как единый водохозяйственный комплекс. Основным фактором снижения стока здесь является орошаемое земледелие, причем не количество площадей орошаемых и даже поливаемых земель, а удельные объемы воды, используемые для полива. В последние 10–15 лет они уменьшились почти вдвое по сравнению с 1980-м гг. Наибольшее снижение стока в этих бассейнах было в период 1981–1985 гг. и составляло 5,3 км³/год (31% водных ресурсов), наименьшее — в начале 1990-х гг., когда оно снизилось до 3,0 км³. В последние десятилетия эта величина составляет 3,5–4,0 км³ в год или 20–23% водных ресурсов.

В бассейне р. Обь наибольшее снижение стока за счет хозяйственной деятельности имело место в 1985 г. и составляло всего примерно 4 км³ в год или 1% от стока реки в устье; к настоящему времени эта величина уменьшилась в четыре раза (см. рис. 9.42).

Величины антропогенных изменений годового стока рек, приведенные на рис. 9.38–9.42, интерес-

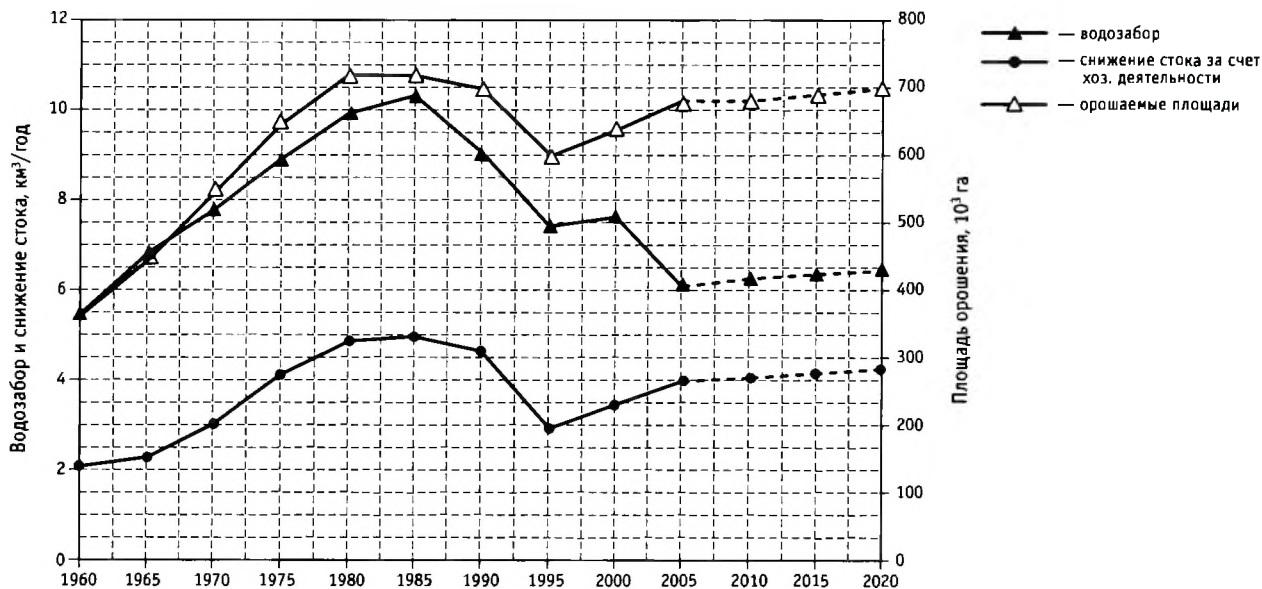


Рис. 9.41. Динамика водозабора, орошаемых площадей в бассейне и снижение годового стока рек Терека и Сулака под влиянием антропогенных факторов за 1960–2005 гг. (с оценками на перспективу до 2020 г.)

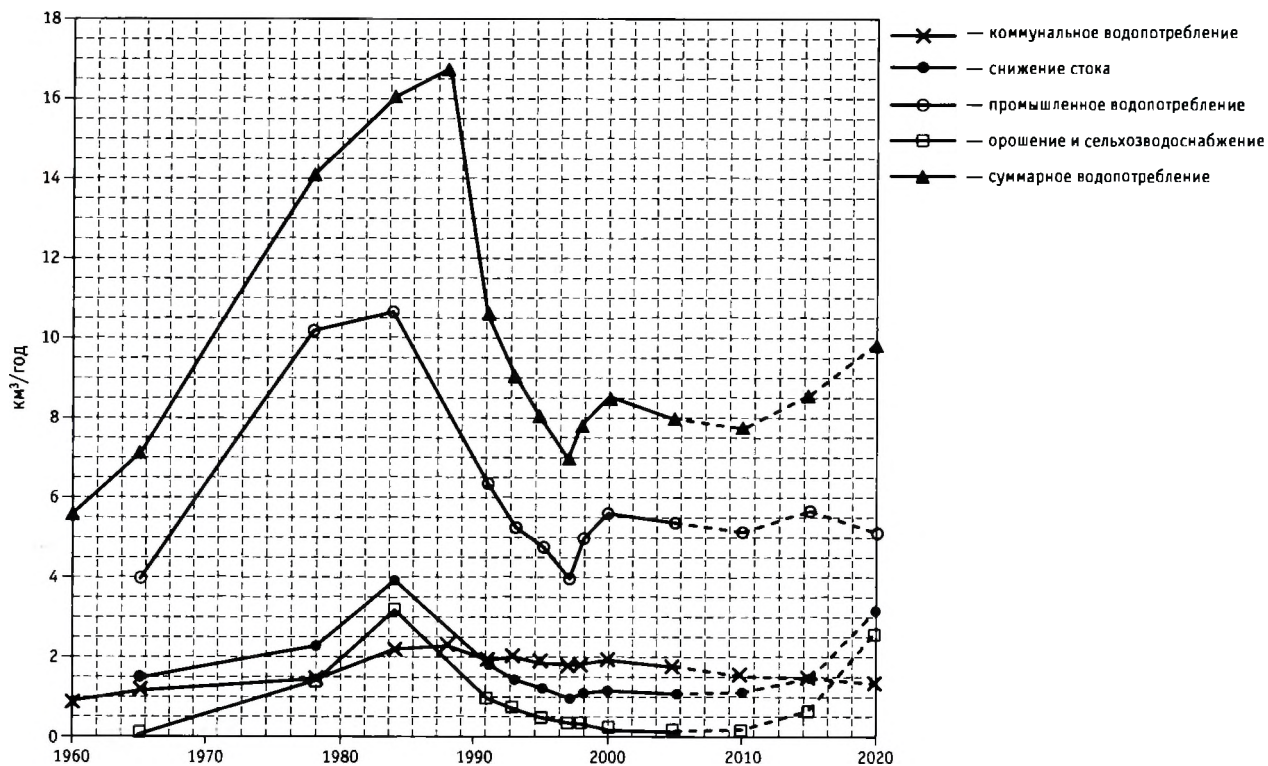


Рис. 9.42. Динамика водопотребления на различные хозяйственные нужды и снижение годового стока в бассейне р. Обь за 1960–2020 гг. (с оценками на перспективу до 2020 г.)

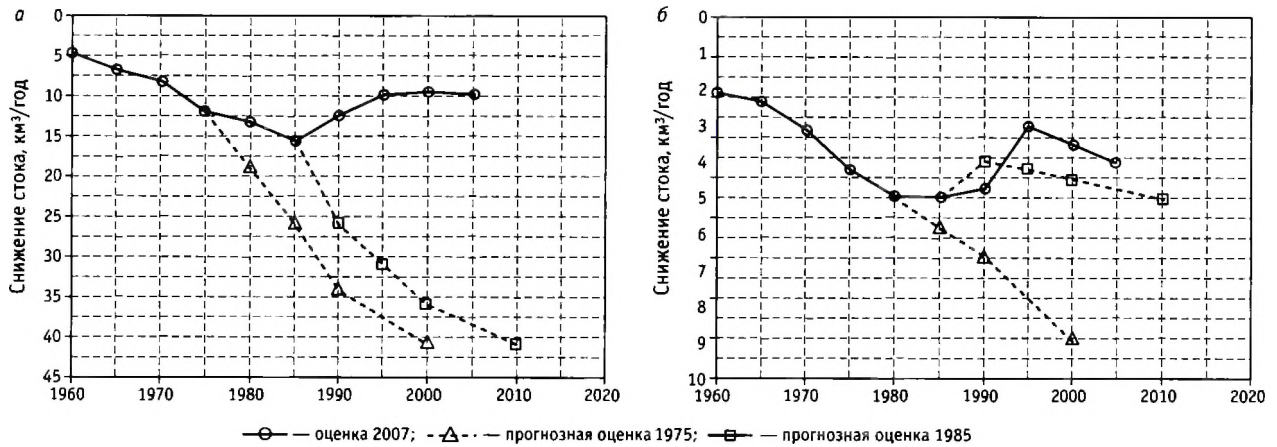


Рис. 9.43. Антропогенные изменения годового стока рек Волги и Терека с Сулаком по оценкам ГГИ, выполненным в разные годы:

a — бассейн р. Волга; *б* — бассейн р. Терек и Сулак

но сравнить с результатами прогнозных оценок ГГИ на период до 2000–2010 гг., выполненных в 1975 и в 1985 гг. Результаты сравнения для всех рассматриваемых рек показаны на рис. 9.43 и 9.44. Наибольший интерес представляют собой анализ прогнозных оценок 1975 г. на период до 1985 г., когда в стране была достаточно стабильная социально-экономическая ситуация. Здесь наибольшие погрешности оценок имеют место для бассейна р. Волга, где предполагалось, что к 1985 г. произойдет уменьшение годового стока реки на 26 км³ (без учета заполнения водохранилищ), а оказалось всего на 15,5 км³ (рис. 9.43, *a*).

Столь большая погрешность прогнозных оценок практически полностью объясняется чрезмерно завышенными планами развития орошаемого земледелия, которые были заложены в «Научно-технический прогноз рационального использования и охраны водных ресурсов СССР на период до 2000 г.» (1973), который, как уже указывалось выше, был использован ГГИ при прогнозных оценках 1975 г. Согласно этому прогнозу, предполагалось в бассейне р. Волга увеличить площади орошения к 1985 г. до 3,2 млн га и к 2000 г. — до 5,1 млн га (в 1975 г. они составляли 1,05 млн га). Этот прогноз не оправдался: фактически в 1985 г. в бассейне реки

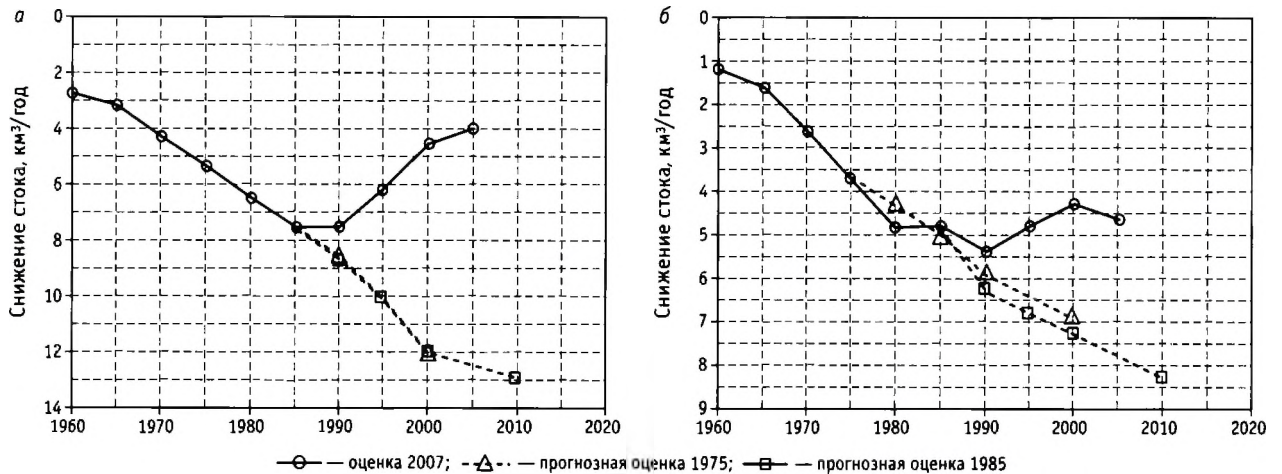


Рис. 9.44. Антропогенные изменения годового стока рек Дона и Кубани по оценкам ГГИ, выполненным в разные годы:

a — бассейн р. Дон; *б* — бассейн р. Кубань

было 2,2 млн га орошаемых земель, а в 2000 г. — 1,45 млн га, из которых поливалось только 0,8 млн га. Учитывая, что не сылились и другие показатели вышеупомянутого прогноза для бассейна р. Волга, это полностью объясняет отклонение прогнозных оценок на 1985 г. по сравнению с фактическими данными.

Примерно такая же ситуация имеет место в бассейнах Терека и Сулака (см. рис. 9.43, б). Здесь прогнозировалось уменьшение стока в 1985 г. на 5,8 км³/год, что полностью объясняется невыполнением перспективных планов развития орошения в бассейне: предполагалось, что площади орошаемых земель в бассейнах составляют 890–900 тыс. га, фактически оказалось 720 тыс. га.

В бассейнах Дона и Кубани прогнозные оценки на 1980–1985 гг. оказались вполне удачными (см. рис. 9.44, а, б) и это понятно, поскольку здесь прогнозируемые в 1975 г. и фактические площади орошения различаются всего на 5–7%.

Что касается прогнозных оценок ГГИ, выполненных в 1985 г., то они уже ориентировались на существенно более скромные прогнозы развития водного хозяйства страны до 2000 г., разработанные в 1985 г. В частности, по этим прогнозам предполагалось к концу столетия довести площади орошения в бассейне р. Волга до 3460 тыс. га, Дона — до 1860 тыс. га, Кубани — до 510 тыс. га, Терека и Сулака — до 800 тыс. га. Фактическое современное состояние орошаемого земледелия во всех этих бассейнах (кроме Терека и Сулака) чрезвычайно далеко от плановых показателей (см. разд. 9.2.4). В полной мере это касается и других отраслей, что, естественно, и нашло отражение в прогнозных оценках 1985 г. (см. рис. 9.43 и 9.44).

Приведенные данные по пяти большим российским бассейнам с интенсивной хозяйственной деятельностью, водные ресурсы которых, как уже указывалось выше, обеспечивают две трети водопотребления России и более 70% всех орошаемых площадей, могут служить надежной основой для приближенной оценки динамики влияния комплекса хозяйственной деятельности на возобновляемые водные ресурсы страны в целом. Имея для указанных водосборов и в целом по стране данные по динамике водозаборов на различные хозяйственные нужды, орошаемых и поливаемых площадей, о величинах потерь на дополнительное испарение с водохранилищ, нетрудно по соотношениям этих характеристик и по данным о снижении стока, приведенным на рис. 9.38–9.42, приближенно оценить

динамику снижения суммарного годового стока рек России. Результаты такой оценки представлены выше, на рис. 9.1 (см. разд. 9.2.1) вместе с динамикой водопотребления в целом по стране на различные хозяйственные нужды за период 1960–2005 гг. Указанные величины, которые по существу представляют собой суммарные безвозвратные потери воды за счет хозяйственной деятельности на речных водосборах, составляют в различные периоды от 30 до 50% от величин суммарного водозабора. По абсолютной величине максимальная величина их была в 1985 г. и составляла около 50 км³ в год или 1,2% от суммарного годового стока рек России; на 40% она была обусловлена безвозвратными потерями воды при орошении и на 35% — потерями на дополнительное испарение с водохранилищ. За последние два десятилетия, главным образом, за счет резкого сокращения орошаемых и особенно фактически поливаемых земель, снижения удельных величин полива, суммарное безвозвратное водопотребление в стране уменьшилось до 35 км³/год, или на 30%. В современных условиях эти величины более чем на 50% обусловлены дополнительными потерями на испарение с водохранилищ.

Важно отметить, что в последние 10 лет произошла стабилизация безвозвратного водопотребления, но в ближайшие годы, при дальнейшем развитии экономики и особенно при восстановлении и расширении оросительных систем, следует ожидать тенденции увеличения безвозвратного водопотребления, особенно в Южных регионах нашей страны (см. гл. 11).

Литература

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шаранов В. А. Водохранилища. — М.: Мысль, 1987. — 326 с.
- Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 221. — С. 259–266.
- Андреянов В. Г. Внутригодовое распределение речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 327 с.
- Анисимов О. А., Поляков В. Я. Информационная система для оценки последствий изменений климата в области криолитозоны // Криосфера Земли. — 1998. — № 3. — С. 91–95.
- Анисимов О. А., Поляков В. Ю. К прогнозу изменения температуры воздуха для первой четверти столетия // Метеорология и гидрология. — 1999. — № 2. — С. 25–31.
- Анкишин В. В., Борщевский Е. Н., Жидков А. П., Левин А. Г., Нечаева Н. С. Способы определения парамет-

- ров кривых добегания // Труды ГМЦ. — 1971. — Вып. 72. — С. 34–53.
- Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. Н. И. Коронкевича, И. С. Зайцевой. — М.: Наука, 2003. — 367 с.
- Аполлов Б. А., Алексеева К. И. Прогноз уровня Каспийского моря // Труды Океанографической комиссии АН СССР. — 1954. — Т. 5. — С. 63–78.
- Асарин А. Е. Водноэнергетические расчеты. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 224 с.
- Асарин А. Е. Методические основы управления речным стоком при комплексном его использовании. — Автореф. дис. ... д-ра технич. наук. — М., ИВП, 1986. — 50 с.
- Басс С. В. Ожидаемые изменения водного баланса бассейна Волги // Водный баланс СССР и его преобразование. — М., 1969. — С. 218–232.
- Басс С. В., Жукова Н. В. Влияние распашки целинных и залежных земель на сток некоторых рек Казахстана и Западной Сибири // Водный баланс СССР и его преобразование. — М., 1969. — С. 233–247.
- Березнер А. С. Прогнозирование водопотребления в южной зоне европейской территории СССР за пределами 2000 г. // Проблемы водного хозяйства СССР в отдаленной перспективе. — М.: АН СССР, 1979. — С. 313–327.
- Березнер А. С. Территориальное перераспределение речного стока европейской части РСФСР. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 159 с.
- Бочков А. П. О влиянии агротехнических и лесомелиоративных мероприятий на сток рек лесостепных и степных районов // Труды ГГИ. — 1965. — Вып. 127. — С. 10–82.
- Братцев С. А. Влияние вырубок леса на водный баланс территории Коми АССР // Труды Коми филиала АН СССР. — 1982. — № 50. — С. 45–57.
- Будучина В. И., Казинцев Е. К. Оросительные воды Ставрополья и их влияние на состояние орошаемых земель // Изв. Северо-Кавказского научн. центра Высшей школы. Технические науки. — 1986. — № 1. — С. 37–41.
- Булавко А. Г., Плужников В. И. Использование водных ресурсов Белоруссии в сельском хозяйстве. — Минск: Ураджай, 1982. — 103 с.
- Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 304 с.
- Бышовец Л. Б. К методике оценки и учета влияния прудов и малых водохранилищ на сток рек Украины // Труды УкрНИИ. — 1984. — Вып. 200. — С. 59–68.
- Веретенникова Г. М., Леонов Е. А. Оценка современного изменения внутригодового распределения стока крупных рек под влиянием водохранилищ // Сборник работ по гидрологии. — 1982. — № 17. — С. 3–32.
- Вишневский П. Ф., Рубцов И. Г. Исследование причин уменьшения годового стока рек Украины в 1948–1962 гг. // Сб. работ по гидрологии. — 1966. — № 6.
- Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток рек и методика его расчета // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 221. — С. 47–104.
- Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиораций на годовую сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 184 с.
- Водогрецкий В. Е. Принципиальная структура модели учета преобразования стока на водосборах под влиянием агролесомелиораций // Труды ГГИ. — 1983. — Вып. 303. — С. 79–90.
- Водопотребление и водоотведение по Российской Федерации за 1970–1979 гг. 1971–1980. — М.: Минводхоз РСФСР, 1971 — 110 с.; 1972 — 89 с.; 1976 — 104 с.; 1979 — 102 с.; 1980 — 105 с.
- Воды России (состояние, использование, охрана) 1991–2002 гг. 1992–2003 гг. — Екатеринбург: РосНИИВХ, 1992 — 96 с.; 1993 — 96 с.; 1994 — 86 с.; 1995 — 88 с.; 1996 — 104 с.; 1998 — 134 с.; 1999 — 146 с.; 2001 — 158 с.; 2002 — 138 с.; 2003 — 136 с.
- Вольфшун И. Б., Сумарокова В. В. Динамика антропогенных и естественных потерь стока Амударьи и Сырдарьи за многолетний период // Метеорология и гидрология. — 1985. — № 2. — С. 98–105.
- Воскресенский К. П., Соколов А. А., Шикломанов И. А. Ресурсы поверхностных вод СССР и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности // Водные ресурсы. — 1974. — № 2. — С. 33–58.
- Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 223 с.
- Георгиевский В. Ю. Изменение стока весеннего половодья р. Волги и солёности Северного Каспия под влиянием антропогенных факторов // Межвуз. сб. научн. трудов. — Л.: Изд-во ЛПИ. — 1985. — Вып. 89. — С. 108–113.
- Георгиевский В. Ю. Изменения стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления. Дис. ... д-ра географ. наук. — СПб.: ГУ «ГГИ», 2005. — 275 с.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л. Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата // Докл. международного симпозиума «Расчеты речного стока». — ЮНЕСКО, 1997. — С. 75–81.
- Георгиевский В. Ю., Моисеенков А. И. Восстановление естественных гидрографов стока крупных рек, зарегулированных каскадом водохранилищ (на примере р. Волги) // Труды ГГИ. — 1984. — Вып. 291. — С. 54–61.
- Георгиевский В. Ю., Моисеенков А. И., Квинтрадзе В. В. Оценка антропогенных изменений внутригодового

- распределения стока Верхней Волги // Труды ГГИ. — 1986. — Вып. 315. — С. 61–68.
- Глазьев С. Ю., Кара-Мурза С. Г., Батчиков С. А.* Белая книга: экономические реформы в России 1991–2001. — М.: ЭКСМО, 2003. — 368 с.
- Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодное издание). 1982–2006 гг. — Л.; СПб.
- Грин А. М.* Динамика водного баланса на примере Центрально-Черноземного района // Водный баланс СССР и его преобразование. — М., 1969. — С. 179–192.
- Данилов-Данильян В. И.* Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. Инс-т водных проблем РАН. — М.: Наука, 2006. — 221 с.
- Демин А. П.* Эффективность использования водных ресурсов в бассейне Волги // Водные ресурсы. — 2005. — Т. 32. — № 6. — С. 653–663.
- Демин А. П.* Современные изменения водопотребления в бассейне Каспийского моря // Водные ресурсы. — 2007. — Т. 34. — № 3. — С. 259–275.
- Демин А. П., Исмаилов Г. Х.* Водопотребление и водоотведение в бассейне р. Волги // Водные ресурсы. — 2003. — Т. 30. — № 3. — С. 366–380.
- Добрумов Б. М., Устюжанин Б. С.* Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 220 с.
- Дроздов О. А., Сорочин О. Г., Шикломанов И. А.* Предварительная оценка возможных изменений глобального влагооборота под влиянием хозяйственной деятельности // Водные ресурсы. — 1976. — № 6.
- Железняк И. А., Бышовец Л. Б., Шерешевский А. И.* Ретрансформация стока рек, зарегулированных каскадом водохранилищ (на примере р. Днепра) // Труды ГГИ. — 1981. — Вып. 273. — С. 102–111.
- Зайков Б. Д.* Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Труды НИУ ГУГМС. — 1946. Сер. 4. — Вып. 88.
- Замахав В. С., Озиранский С. Л., Гангард Г. Г., Минькович-Печерский Л. В.* Использование воды в народном хозяйстве. — 1974. — 105 с.
- Зарубаев Н. В.* Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — Л.: Стройиздат, 1976. — 223 с.
- Идзон П. Ф.* Лес и водные ресурсы. — М.: Лесная промышленность, 1980. — 153 с.
- Использование воды в народном хозяйстве. — М.: Энергия, 1973. — 105 с.
- Использование и охрана водных ресурсов в СССР (анализ данных государственного учета использования вод). 1981–1989. — Минск: ЦНИИКИВР, 1981. — Вып. 1. — 162 с.; — 1982. — Вып. 2. — 174 с.; — 1983. — Вып. 4. — 268 с.; — 1984. — Вып. 5. — 258 с.; — 1985. — Вып. 6. — 260 с.; — 1986. — Вып. 7. — 254 с.; — 1987. — Вып. 9. — 212 с.; — 1988. — Вып. 10. — 210 с.; — 1989. — Вып. 11. — 195 с.
- Калинин Г. П.* Проблемы глобальной гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 376 с.
- Калинин Г. П., Милуков П. И.* Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс // Труды ЦИП. — 1958. — Вып. 66. — 71 с.
- Карпечко Ю. В., Нестеренко И. М., Осипов В. В.* Гидрологические преобразования на осушаемых болотах при их многолетней эксплуатации // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологического съезда. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — Секция 3. — С. 164–165.
- Книзе А. А., Крестовский О. И.* Основные методические положения количественной оценки гидрологической функции лесов // Общие принципы стратегии использования и лесовыращивания на ландшафтно-типологической основе: Сб. науч. трудов СПбНИИЛХ. — 1994. — С. 79–107.
- Книзе А. А., Романюк Б. Д., Федорчук В. Н.* Динамика продуктивности таежных и подтаежных лесов европейской части России за длительный период // Труды СПбНИИЛХ. — 2000. — Вып. 1. — С. 161–169.
- Коронкевич Н. И.* Преобразование водного баланса. — М.: Наука, 1973. — 119 с.
- Коронкевич Н. И.* Состояние водных ресурсов в 1970-х годах и в перспективе // Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. — М., 1976. — С. 321–331.
- Костин Б. И., Фишман М. Я.* Нормирование водопользования и водоотведения в Поволжье // Мелиорация и водное хозяйство. — 1992. — № 5–6.
- Крестовский О. И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 117 с.
- Крестовский О. И.* О влиянии изменений климата на продуктивность лесов в Северо-Западном и Северо-Восточном регионах ЕТР. ГУ «ГГИ», СПб. Деп. ВИНТИ. — 2003. — № 1030. — 20 с.
- Крестовский О. И., Соколова Н. В.* Всенний сток и потери талых вод в лесу и поле // Труды ГГИ. — 1979. — Вып. 265. — С. 32–60.
- Кузин П. С.* Влияние агротехнических мероприятий на сток р. Волги // Метеорология и гидрология. — 1946. — № 5.
- Кузин П. С.* О влиянии агротехнических мероприятий на речной сток // Труды ГГИ. 1965. — Вып. 127. — С. 82–100.
- Куприянов В. В.* Гидрологические аспекты урбанизации. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 180 с.
- Куприянов В. В.* Урбанизация и проблемы гидрологии // Гидрологические аспекты урбанизации. — М., 1978. — С. 5–15.
- Кутовой С. С.* Влияние хозяйственной деятельности на сток рек бассейна р. Десны. Авторсф. дис. ... канд. геогр. наук. — Л., 1981. — 16 с.

- Лебедев А. В.* Гидрологическая роль горных лесов Сибири. — Новосибирск: Наука, 1982. — 183 с.
- Левин А. П.* Водный фактор в размещении промышленного производства. — М.: Стройиздат, 1973. — 165 с.
- Львович М. И.* Человек и воды. — М.: Географгиз, 1963. — 320 с.
- Львович М. И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974. — 448 с.
- Львович М. И.* Почвенное направление в гидрологии // Формирование водного баланса территории. — М., 1980. — С. 30–52.
- Львович М. И.* Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1986. — 256 с.
- Маслов Б. С., Колганов А. В., Гулюк Г. Г., Гусенков Е. П.* История мелиорации в России. — Кн. 2. — М., 2002. — 258 с.
- Мелиорирование земель в СССР. — М.: Колос, 1974. — 268 с.
- Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 80 с.
- Методические указания управлениям Гидрометслужбы. — № 90: Составление русловых водных балансов — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 104 с.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / Под ред. В. И. Корзуна. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 638 с.
- Молчанов А. А.* Влияние леса на окружающую среду. — М.: Наука, 1973. — 359 с.
- Назаров Г. В.* Оценка влияния хозяйственной деятельности на водный баланс рек Днепра и юга Украины // Водный баланс СССР и его преобразование. — М., 1969. — С. 193–207.
- Новиков С. М., Гончарова Ж. С.* Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мелиораций // Труды ГГИ. — 1978. — Вып. 255. — С. 54–68.
- Новиков С. М., Гончарова Ж. С.* Влияние осушительных мелиораций на водный режим болот, сельскохозяйственных полей и речных бассейнов в Нечерноземной зоне. Обзорная информация. — Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1984. — 49 с.
- Нормативы по учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток. — Л.: Гидрометеоздат, 1963.
- О правилах эксплуатации водохранилищ Российской Федерации. — Приказ МПР России от 25.10.2000 г. — № НМ-61/5611.
- Поляков Б. В.* Влияние агротехнических мероприятий на сток рек // Метеорология и гидрология. — 1939. — № 4.
- Принципиальные положения и варианты территориального перераспределения водных ресурсов, включая переброски речного стока северного склона на юг и черноморских вод в Каспийское море (II редакция). — М.: АН СССР, 1977. — 449 с.
- Развитие мелиорации земель за 1966–1985 гг.: Статистический сборник. — М.: Минводхоз СССР, 1986. — Кн. 1. — 359 с.
- Раткович Д. Я.* Актуальные проблемы водообеспечения. — М.: Наука, 2003. — 352 с.
- Рахманов В. В.* Влияние лесов на водность рек в бассейне Верхней Волги // Труды Гидрометцентра СССР. — 1971. — Вып. 88. — 175 с.
- Рахманов В. В.* Речной сток и агротехника // Труды Гидрометцентра СССР. — 1973. — Вып. 114. — 200 с.
- Рахманов В. В.* Лесная гидрология. Итоги науки и техники // Лесоведение и лесоводство. 1981. — Т. 3. — 180 с.
- Родионов В. З.* Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток рек при коротких рядах наблюдений (на примере рек лесостепной и степной частей бассейна р. Волги) // Труды ГГИ. — 1981. — Вып. 273. — С. 9–22.
- Российский реестр гидротехнических сооружений. — М.: ФГУП «Центр Российского реестра гидротехнических сооружений и ГВК», 2006. — 1000 с.
- Сельскохозяйственные мелиорации. — М.: Госсельхозиздат, 1956. — 512 с.
- Соколов А. А.* О чем шумит русский лес. — Л.: Гидрометеоздат, 1982. — 95 с.
- Соколов А. Г., Попова М. А.* Оценка современных и возможных в перспективе антропогенных изменений внутригодового распределения стока Нижней Волги // Сб. работ по гидрологии. — 1979. — № 15. — С. 3–17.
- Соколовский Д. Л.* Речной сток. — Л.: Гидрометеоздат, 1952. — 490 с.
- Справочник по водохранилищам СССР (Ч. 1, 2). — М.: Союзводпроект, 1988–1989. — 1125 с.
- Срибный К. Ф.* Влияние перспективного изменения объемов стока на обеспеченность водой народного хозяйства // Мелиорация и водное хозяйство. — 1965. — № 5.
- Стефенсон Д.* Гидрология и дренаж ливневых вод / Пер. с англ. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 261 с.
- Фатуллаев Г. Ю.* Современные изменения водных ресурсов и водного режима рек Южного Кавказа. — Баку, 2003. — 167 с.
- Федоров С. Ф.* Исследование элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 264 с.
- Харченко К. И.* Изменение испарения с сельскохозяйственных полей под влиянием осушительной мелиорации // Труды ГГИ. — 1979. — Вып. 261. — С. 116–125.
- Харченко С. И.* Гидрология орошаемых земель. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 374 с.

- Харченко С. И. Гидрологические основы рационального использования и охраны водных ресурсов в орошаемом земледелии // Проблемы современной гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1983. — С. 101–120.
- Харченко С. И., Громова Р. В., Харченко К. И. Оценка изменений стока под влиянием осушительных мелиораций // Труды ГГИ. — 1981. — Вып. 269. — С. 22–37.
- Чеботарев А. И., Харченко С. И. О методах оценки возможных изменений речного стока под влиянием земледелия // Метеорология и гидрология. — 1964. — № 7. — С. 27–32.
- Шикломанов И. А. Расчеты гидрографов паводков с учетом переменного времени добегаания при помощи нелинейной электромоделлирующей установки // Труды ЛГМИ. — 1968. — Вып. 28. — С. 27–40.
- Шикломанов И. А., Кожевников В. П. Потери стока р. Волги в Волго-Ахтубинской пойме и в дельте // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 221.
- Шикломанов И. А. Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 77 с.
- Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. — Обнинск, 1976. — 110 с.
- Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 302 с.
- Шикломанов И. А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 170 с.
- Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 335 с.
- Шикломанов И. А., Балонщикова Ж. А., Георгиевский В. Ю. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы и социально-экономические последствия, проблемы адаптации и снижения негативных последствий // Метеоспектр. Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения. — 2007. — № 2. — С. 46–69.
- Шикломанов И. А., Веретенникова Г. М. Оценка изменений годового стока рек СССР под влиянием водохранилищ // Труды ГГИ. — 1978. — Вып. 239.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Современные и ожидаемые изменения стока рек СССР и их учет при планировании крупномасштабных водохозяйственных мероприятий // Труды V Всесоюз. гидрологич. съезда. — Т. 4: Гидрологическое обоснование водохозяйственных мероприятий. — Л.: Гидрометеоздат, 1990. — С. 243–248.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР // Географические направления в гидрологии. — М.: РАН, 1995. — С. 96–107.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологического съезда, СПб., 28 сентября — 01 октября 2004 г. — СПб.: Гидрометеоздат, 2004. — Секц. 3. — С. 200–201.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Копалиани З. Д. Научно-методические основы современного государственного мониторинга водных объектов // Метеорология и гидрология (в печати).
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Моисеенков А. И. Влияние хозяйственной деятельности на водный режим Нижней Волги // Труды ГГИ. — 1984. — Вып. 291. — С. 3–20.
- Шикломанов И. А., Крестовский О. И. Влияние леса и лесотехнических мероприятий на речной сток и водный баланс // Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — С. 178–203.
- Шикломанов И. А., Маркова О. Л. Проблемы водообеспечения и переброски стока в мире. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 293 с.
- Шикломанов И. А., Фатуллаев Г. Ю. Антропогенные изменения стока р. Куры // Метеорология и гидрология. — 1983. — № 8. — С. 71–78.
- Шикломанов И. А., Шикломанов А. И. Изменение климата и приток речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. — 2003. — № 12.
- Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. — Киев: Наукова думка, 1968. — 284 с.
- Шуваев Г. А., Цейтлин Б. С. Методика расчета ретрансформации гидрографов половодного стока // Водные ресурсы. — 1974. — № 4. — С. 35–42.
- Шулипенко Т. Ф. Изменение стока средних рек лесостепной и степной зон Украины под влиянием метеорологических факторов и хозяйственной деятельности // Сб. работ по гидрологии. — 1982. — № 17. — С. 96–120.
- Эдельштейн К. К. Водохранилища России // Экологические проблемы, пути их решения. — М.: ГЕОС, 1998. — 277 с.
- Юнусов Г. Р. Устойчивость норм годового стока и сезонных расходов рек в условиях развития на их водосборе агротехнических мероприятий // Исследования поверхностного и подземного стока. — М.: Наука, 1967. — С. 88–100.
- David E. L. Manufacturing and Mining Water Use in the United States, 1954–1983: National Water Summary 1987. US Geological Survey Water Supply Paper 2350. Washington, DC, US Government Printing Office, 1990.
- Falkenmark M. Water in Sweden. National report to the United Nations Conference on Water Development and Management (Mar-del-Plata, Argentina, March 1977). Stockholm, Ministry of Agriculture, 1977.
- FAO. Irrigation in Asia in Figures. — Rome, FAO, 1999. — 228 p.
- Fleming N. S., Daniell T. M. Sustainable water resources management: an Australian perspective // Water Res. J. — 1994. — N 183. — P. 16–23.

- Georgievsky V. Yu., Shiklomanov I. A.* Climate change and water resources // *World Water Resources in the Beginning of the 21st Century*. — Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003. — P. 390–413.
- Georgievsky V. Yu., Zhuravin S. A., Ezhov A. V.* Assessment of Trends in Hydrometeorological Situation on the Great Russian Plain under the Effect of Climate Variations. *Proceedings of American Geophysical Union, 15th Annual Hydrology Day, 1995*. — P. 47–58.
- Gleick P. H.* Minimum water requirements for human activities: meeting basis needs // *Water International, 1996*. — N 21. — P. 83–92.
- Gleick P. H.* *The World's Water 1998–1999: The Biannual Report on Fresh Water Resources*. — Washington: DC, Island Press, 1998.
- Global register of large river flood events. Dartmouth Flood Observatory Department of Geography. — Hanover, USA, 2000.
- Holda I., Osrodka L., Wojtlak M.* Estimation of changes of runoff from urbanized and industrialized catchments. In: *Friends in Hydrology* (eds.) L. Roald, K. Nordseth, K. A. Hassel, Proc. int. Conf. on Flow Regimes from International Experimental and Network Data (Bolkesjo, Norway, 1–6 April 1989), 1989. — P. 403–408. IAHS Publ. 197. — Wallingford, UK, IAHS Press.
- International Centre of Water Studies (ICWS). Long-range Study on Water Supply and Demand in Europe-Integrated Report. — Amsterdam, Netherlands, 1996. — Report 96.05.
- IPCC. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.). Contribution of Working Group I to the 2nd Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.
- IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, Van der Linden P. J., X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson (eds.) — Cambridge: Cambridge University Press, 2001. — 881 p.
- IPCC. *Fourth Assessment Report. Working Group I. Climate Change. The Physical Science Basis*. Presented on IPCC Conference in Paris 02 February, 2007.
- IWSA Congress. Madrid, Spain, International Statistics for Water Supply. — Madrid, 1997.
- Jones P. D.* Hemispheric surface air temperature variations: recent trends and update to 1987, *J. Climate*, 1, 1988. — P. 654–660.
- Jones P. D.* Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993, *J. Climate*, 7, 1994. P. 1794–1802.
- Margat J., Vallee D.* *Water for the 21st Century: Vision to Action — Mediterranean Vision on Water, Population and Environment*. — Monaco, JS Communication, 2000.
- Murray R., Reeves B.* Estimated use of water in the United States in 1970. — Washington, 1972. — H. 37, map., table (Geol. Surv. Circular 676)
- Peterson B. L., Holmes R. M., McClelland, Vorosmarty C. J., Lammers R. B., Shiklomanov A. I., Shiklomanov I. A., Rahmstorf S.* Increasing river Discharge to the Arctic Ocean 2002. — Vol. 298. — December. — P. 2171–2173.
- Rahman.* Near surface hydrological processes under changing land in humid equatorial conditions // *Friends in Hydrology* (eds.) L. Roald, K. Nordseth, K. A. Hassel. Proc. Int. Conf. on Flow Regimes from International Experimental and Network Data (Bolkesjo, Norway, 1–6 April 1989). IAHS Publ. 187. — Wallingford, UK, IAHS Press, 1989. — P. 331–340.
- Russell D. F., Woodcock C. P. N.* What will water rates be like in the 1990s? // *Water Resources J.* — 1993. N 177. P. 45–51.
- Scheffer J. E.* Domestic Water Use in the United States 1960–1985. National Water Summary — 1987. USGS // *Water-Supply Paper, 1990*. — 2350. — P. 71–80.
- Seckler D., et al.* *World Water Demand and Supply, 1990–2025: Scenarios and Issues* // *IWMI Research Report*. — Colombo, International Water Management Institute, 1998. — N 19.
- Shiklomanov I. A.* Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO lecture // *WMO*. — 2004. — N 959. — P. 13–146.
- Shiklomanov I. A., Krestovsky O. I.* The Influence of Forests and Forest Reclamation Practice on Streamflow and Water Balance. In: *Forests Climate and Hydrology. Regional Impacts* / Eds. R. C. Evan. Reynolds and Frank B. Thompson. — 1984. — P. 78–117.
- Shiklomanov I. A., Rodda J.* (eds.). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century* // *UNESCO: Cambridge University Press, 2003*. — 436 p.
- Tate D. M.* *Water Demand Management in Canada: A State-of-the-Art Review*. Ottawa, Canada, Environmental Canada, Inland Waters Directorate, Water Planning and Management Branch, 1990.
- World Bank. *World Development Report 1992: Development and Environment*. — New York, Oxford University Press, 1993.
- World Bank. *World Development Report 1994: Infrastructure for Development*. — New York, Oxford University Press, 1995.
- WRI. *World Resources 1996–1997: A Guide to the Global Environment — Toward Sustainable Development*. — New York, Oxford University Press, 1996.
- WRI. *World Resources 2000–2001: A Guide to the Global Environment — Life, Environment and Policy*. — New York, Oxford University Press, 2000.

Глава 10

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ И КАЧЕСТВО ВОДЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РЕГИОНОВ

10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Территория Российской Федерации в политико-административном отношении, согласно Конституции нашего государства, подразделена на 89 субъектов. В последние годы наметилась тенденция к объединению территорий отдельных субъектов. Образован Пермский край, проведены референдумы об образовании в ближайшие годы Красноярского, Камчатского и Забайкальского краев. Как правило, края будут образованы в результате слияния отдельных областей и автономных округов. Например, в состав Пермского края вошли Пермская область и Коми-Пермяцкий автономный округ, в состав Камчатского края войдут Камчатская область и Корякский автономный округ и т. д.

В целях поступательного развития экономики и эффективного управления субъектами РФ по Распоряжению Президента России В. В. Путина все административные территории страны были отнесены к соответствующим федеральным округам. Всего на территории России образовано семь федеральных округов: Центральный, Северо-Западный, Южный, Приволжский, Уральский, Сибирский, Дальневосточный.

В данной главе приводятся и анализируются результаты оценки водных ресурсов (поверхностных и подземных), качества воды, водопотребления и водообеспеченности по всем, за исключением Москвы и Санкт-Петербурга, действующим к настоящему времени субъектам РФ, включая образованный Пермский край. Другие упомянутые выше края пока конституционно не закреплены. Поэтому оценки для них приводятся отдельно: для областей и автономных округов. Водные ресурсы Москвы и Санкт-Петербурга учтены, соответст-

венно, в местном стоке Московской и Ленинградской областей.

Одновременно даны оценки водных ресурсов, их использования и качества для федеральных округов, включающих в себя территории нескольких субъектов Российской Федерации. Границы административных территорий всегда отличаются от границ речных бассейнов, проходящих по водораздельным линиям рельефа местности. Границы субъектов Федерации, как правило, связаны с закономерностями исторического проживания отдельных народов, населяющих страну. Поэтому они пересекают территории речных бассейнов в разных направлениях. Это обстоятельство создает большие трудности при оценке водных ресурсов территорий субъектов РФ, тогда как при оценке водных ресурсов речных бассейнов или бассейнов морей достаточно иметь данные о стоке рек в замыкающих гидрометрических створах с последующим его приведением к устью рек.

При оценке же возобновляемых водных ресурсов рек и водотоков для административных территорий необходимо рассматривать следующие характеристики: местный сток, приток вод из сопредельных территорий, отток вод за пределы исследуемого субъекта и общий сток. Воды местного формирования — суммарный объем стока рек и водотоков, формирующихся в пределах данной территории. Приток вод из сопредельных регионов и из-за рубежа на данную территорию — суммарный объем стока рек и водотоков, поступающих извне в ее пределы. Отток вод с какой-либо территории — суммарный объем стока рек и водотоков, вытекающих за ее пределы. Общие (суммарные) возобновляемые водные ресурсы какой-либо территории — суммарное значение объемов вод местного формирования и притока вод из сопредельных районов.

10.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В гл. 5 настоящей монографии были изложены различные современные методы оценки средних многолетних значений водных ресурсов рек и бассейнов морей, известные во всем мире: водного баланса, эмпирических формул, карт стока, гидрологической аналогии. Одновременно были описаны также методы, пригодные для оценки ежегодных величин водных ресурсов указанных территорий: регрессионный, факторный, интегрального осреднения пространственных уравнений стока, линейных уравнений стока (Бабкин, 1970; Бабкин и др., 1974; Бабкин, Шикломанов, 1989). В настоящем разделе приведены методы оценки характеристик водных ресурсов административных территорий РФ. Оценка их проводилась за периоды с 1930 по 2005 г. для территорий субъектов, расположенных в пределах европейской части и за 1936–2005 гг., — для территории азиатской части России. Ниже дано краткое описание метода линейных уравнений стока, разработанного в ГГИ и реализованного в автоматизированной информационной системе Информационно-аналитического центра Государственного водного кадастра РФ. Этот метод используется для ежегодной оценки водных ресурсов административных территорий в течение последних 30 лет (Бабкин, Воскресенский, 1976; Водные ресурсы СССР... 1987).

Суть метода заключается в следующем: для любой административной территории (либо федерального округа), в зависимости от его географического местоположения, водные ресурсы представлены в виде набора четырех-шести характеристик (местного стока, притока вод, притока вод из-за рубежа, общих ресурсов, равных сумме объемов местного стока и притока вод, оттока вод, оттока вод за границу). Для соседних территорий число характеристик может существенно различаться.

Для каждой гидрологической характеристики разработано уравнение, с учетом, в первую очередь, данных гидрометрических измерений объемов стока, применительно к площади рассматриваемого субъекта РФ, а также закономерности изменения стока по территории. В частности, для оценки объемов вод местного формирования какого-либо субъекта необходимо определить суммарный сток всех рек и водотоков, находящихся в его пределах.

Поскольку гидрометрические створы на реках и водотоках расположены на каком-то расстоянии от границ рассматриваемого субъекта, измеряемый в них сток воды может существенно отличаться от его значений на границе административной территории. Поэтому необходимо осуществлять приведение значений стока рассматриваемой реки к границе исследуемого субъекта Федерации. Площадь бассейнов рек и водотоков в пределах субъекта Федерации должна быть равна его площади. В общем случае для ежегодной оценки объемов вод местного формирования субъектов Российской Федерации \bar{y}_i , использовано выражение, аналогичное уравнению 5.5 (гл. 5):

$$\bar{y}_i = 3,154 \cdot 10^{-2} (k_1 y_1 + k_2 y_2 + \dots + k_n y_n) + y_\alpha - y_\beta + y_\gamma - y_\xi + y'_\alpha - y'_\beta + B + E + E', \quad (10.1)$$

где \bar{y}_i — объем вод местного формирования субъекта Федерации; y_1, y_2, \dots, y_n — объемы речных вод в гидрометрических створах на реках, протекающих в пределах субъекта; k_1, k_2, \dots, k_n — параметры приведения стока рек к границе субъекта Федерации; y_α — объемы забранных вод из русел рек, формирующих местный сток; y_β — объемы сбросов вод после их использования в русла рек; y_γ — переброска объемов вод из бассейна рассматриваемой реки в другие бассейны; y_ξ — переброска объемов вод из других бассейнов в рассматриваемый; y'_α — ущерб речному стоку вследствие отъемов подземных вод, артезиански связанных с речными; y'_β — сбросы артезианских вод; B — изменение запасов воды в водохранилищах; E — дополнительное (по сравнению с сушей) испарение с поверхности русловых водохранилищ; E' — потери на испарение и инфильтрацию в естественных условиях с объема воды, равного безвозвратному водопотреблению.

Элементы $y_\alpha, y_\beta, \dots, E, E'$ являются водохозяйственными элементами. В середине и второй половине XX в. они были вполне значимыми (Бабкин, Вуглинский, 1983; Водные ресурсы... 1987). Однако их величины определялись с большими погрешностями. В связи с этим обстоятельством в гидрологической практике широкое применение получили методы интегральной оценки влияния факторов хозяйственной деятельности на сток рек. В частности, в работах ГГИ для оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на речной сток использовался регрессионный метод (Шикломанов, 1979; Shiklomanov, Rodda, 2003). Оценка естественного стока за период с незначительной

хозяйственной деятельностью осуществлялась по его зависимости от метеорологических факторов: атмосферных осадков, температуры воздуха, дефицита влажности и др. Эта зависимость использовалась для оценки естественных значений водных ресурсов в последующий период со значительной хозяйственной деятельностью.

В настоящее время значительные потери вод от хозяйственной деятельности отмечаются в бассейнах южной части России: Волги, Дона, Кубани, Терека, Урала и других водотоков.

Наибольший вклад в оценку объема местного стока по выражению (10.1) вносят n слагаемых произведений стока местных рек на соответствующие параметры k_1, k_2, \dots, k_n . Указанные параметры для каждой реки и отдельно взятого створа установлены в индивидуальном порядке одним из следующих приемов (Воскресенский, 1962; Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза, 1967; Бабкин, Воскресенский, 1976):

- интерполяция нормы стока по длине реки;
- определение стока с неизученной территории субъекта Федерации по карте изолиний его нормы, с дальнейшим взвешиванием относительно всей площади субъекта или какой-либо его части;
- отношение площадей неизученной и изученной частей территории;
- оценка стока с неизученной площади субъекта Федерации по аналогии с изученной.

Рассмотренные выше подходы при оценке параметров уравнения (10.1) для местного стока использованы также и для других характеристик водных ресурсов субъектов Федерации: притока вод с сопредельных территорий, притока вод из-за рубежа, оттока вод за пределы субъекта, оттока вод за границу РФ.

При оценке притока вод из-за рубежа в пределы России использованы данные о стоке рек в створах, расположенных вблизи границ нашего государства. Значения параметров q_i для территории РФ в данном случае определены путем интерполяции стока по длине реки. При отсутствии гидростворов на реках, притекающих из других государств, для учета притока вод использованы реки-аналоги, расположенные на территории нашей страны. В случае, когда граница между административными территориями проходит по фарватеру реки, транзитом проносящей свои воды в смежные территории, общий объем стока каждого субъекта принят условно равным сумме объемов местного и половины транзитного стока.

В состав отдельных субъектов РФ входят острова. Водные ресурсы островов характеризуются водами местного формирования, равными оттоку вод с их территории. Метод оценки местного стока на островах Северного Ледовитого и Тихого океанов описан выше, в разд. 5.2.2.

Характеристики водных ресурсов субъектов РФ определены за период, продолжительность которого превышает 70 лет. Для субъектов, расположенных в пределах европейской части нашей страны, продолжительность расчетного периода составила 76 лет (1930–2005 гг.), а для субъектов азиатской части России — 70 лет (1936–2005 гг.).

10.3. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

10.3.1. Среднегодовое водные ресурсы

Территория РФ расположена в Северном полушарии. Ее площадь составляет 17 075 400 км². На этой площади по данным Службы государственной статистики (итоги Всероссийской переписи населения 2002 г.) в 2002 г. проживало 145 166 731 человек. Средняя плотность населения РФ составляет 8,5 человек на 1 км².

Средний годовой сток в пределах нашего государства изменяется весьма значительно: от 5 мм и менее в районе городов Астрахань и Омск и 20 мм в районе Якутска до 860–1000 мм и более на Урале, в горах Путорана, на Сахалине, Камчатке, Кавказе.

Общие (суммарные) ежегодно возобновляемые водные ресурсы речных бассейнов и водотоков России, оцененные для субъектов, расположенных в европейской части России за период с 1930 по 2005 г. и для субъектов азиатской территории за период 1936–2005 гг. (табл. 10.1), составляют 4324 км³, в том числе объем вод местного формирования — 4118 км³. Из-за рубежа в пределы РФ ежегодно в среднем за многолетний период поступает 206 км³ воды.

На одного жителя нашей страны в среднем приходится 28,4 тыс. м³/год вод местного формирования и 29,8 тыс. м³/год общих ресурсов речного стока.

Удельная природная водообеспеченность 1 км² территории России составляет 253 тыс. м³/год.

Подробные сведения о возобновляемых водных ресурсах федеральных округов и субъектов Российской Федерации приводятся в табл. 10.1. Краткие пояснения по каждому федеральному округу приведены ниже.

Центральный федеральный округ

К Центральному федеральному округу (см. цв. вкл., рис. 14) отнесены Белгородская, Брянская, Владимирская, Воронежская, Ивановская, Тверская, Калужская, Костромская, Курская, Липецкая, Московская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская, Тульская и Ярославская области. Площадь территории Центрального федерального округа равна 652,8 тыс. км². В пределах рассматриваемого округа проживает 38,0 млн человек. Плотность населения составляет 58,2 человек на 1 км².

Средний годовой сток в пределах рассматриваемого округа изменяется от 63 мм (в Воронежской области) до 200–300 мм (Тверская, Ярославская, Костромская области).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы Центрального федерального округа за период с 1930 по 2005 г. составляют 131 км³: на территории округа формируется 108 км³, а притекает со смежных территорий около 23,0 км³.

Структура водных ресурсов в Центральном федеральном округе такова, что лишь во Владимирскую, Ивановскую, Костромскую и Ярославскую области притекают значительные объемы вод — около 30 км³ и более. Сравнительно небольшие объемы вод — менее 1 км³ — в Курскую, Белгородскую, Тамбовскую и Орловскую области.

Наибольшие объемы местных ресурсов формируются в Тверской (17,6 км³), Костромской (16,4 км³) и Смоленской (10,3 км³) областях, а наименьшие — в Белгородской (2,51 км³) и Липецкой (2,59 км³) областях.

Наибольшими суммарными водными ресурсами обладают Ивановская (59,4 км³), Костромская (55,4 км³), Владимирская (37,3 км³) и Ярославская (36,2 км³) области, а наименьшими — Белгородская (2,71 км³), Курская (3,66 км³), Орловская (4,15 км³) и Тамбовская (4,21 км³) области.

Наиболее обеспечены водами местного формирования жители Костромской (22,3 тыс. м³/год) и Тверской областей (12,0 тыс. м³/год), а суммарными водными ресурсами жители Костромской (75,2 тыс. м³/год), Ивановской (51,7 тыс. м³/год), Ярославской (26,5 тыс. м³/год) и Владимирской

(24,4 тыс. м³/год) областей. Наименее обеспечены водами местного формирования и общими ресурсами жители Московской области (включая население г. Москва) — 0,499 тыс. м³/год и 1,15 тыс. м³/год соответственно.

Удельная водообеспеченность местными ресурсами 1 км² площади территории в округе наибольшая в Костромской (273 тыс. м³/год), Смоленской (207 тыс. м³/год), Ивановской (205 тыс. м³/год), Ярославской (191 тыс. м³/год) и Тверской (209 тыс. м³/год) областях, а наименьшая — в Воронежской области (63,0 тыс. м³/год).

Удельная водообеспеченность общими водными ресурсами 1 км² площади территории наибольшая в Ивановской (2725 тыс. м³/год) и Владимирской (1286 тыс. м³/год) областях, а наименьшая — в Белгородской области (100 тыс. м³/год).

Северо-Западный федеральный округ

К Северо-Западному федеральному округу (см. цв. вкл., рис. 15) отнесены Мурманская, Архангельская, Вологодская, Ленинградская, Новгородская, Псковская и Калининградская области и две Республики: Коми и Карелия. Площадь Северо-Западного федерального округа равна 1 677 900 км², в его пределах проживает около 14,0 млн человек. Плотность населения составляет 8,3 человека на 1 км². Средний годовой сток рек в пределах материковой части рассматриваемого федерального округа изменяется от 150 мм (Калининградская область) до 1000 мм и более (Республика Коми). На островной части округа сток изменяется от 100 мм (о. Земля Франца-Иосифа) до 500 мм (о. Новая Земля).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы Северо-Западного федерального округа за период с 1930 по 2005 г. составляют 619 км³: на территории округа формируется 554 км³, приток речных вод из-за рубежа равен 50,1 км³. Отток вод с территории округа составляет 618 км³.

Структура водных ресурсов Северо-Западного федерального округа такова, что лишь в Архангельскую область из Вологодской области и Республики Коми поступают большие массы воды — 196 км³. В Республиках Карелия и Коми значения притока не превышают 5–10% от их общих водных ресурсов.

Наибольшими водными ресурсами в округе располагает Архангельская область — около 397 км³, а наименьшими — 22,6 км³ — Калининградская.

Средние многолетние естественные ресурсы речного стока Российской Федерации (км³/год)

№ п/п	Административная территория	Приток	Приток из-за границы	Местный сток		Сv	Общие ресурсы
				км ³ /год	мм		
Российская Федерация		206	206	4118	241	0,06	4324
Центральный федеральный округ		22,3	0,46	108	166	0,20	131
1	Белгородская обл.	0,20	0	2,51	92,6	0,32	2,71
2	Брянская обл.	2,25	0,46	5,37	154	0,26	7,62
3	Владимирская обл.	32,4	0	4,86	168	0,31	37,3
4	Воронежская обл.	10,3	0	3,30	63,0	0,58	13,6
5	Ивановская обл.	54,9	0	4,47	205	0,21	59,4
6	Тверская обл.	8,43	0	17,6	209	0,27	26,0
7	Калужская обл.	6,34	0	5,35	179	0,29	11,7
8	Костромская обл.	38,9	0	16,4	273	0,35	55,4
9	Курская обл.	0,06	0	3,60	121	0,28	3,66
10	Липецкая обл.	3,73	0	2,59	107	0,27	6,32
11	Московская обл.	11,2	0	8,48	180	0,30	19,6
12	Орловская обл.	0,68	0	3,47	140	0,25	4,15
13	Рязанская обл.	21,4	0	5,53	140	0,31	26,9
14	Смоленская обл.	4,24	0	10,3	207	0,24	14,5
15	Тамбовская обл.	0,54	0	3,67	107	0,32	4,21
16	Тульская обл.	7,02	0	3,88	151	0,22	10,9
17	Ярославская обл.	29,3	0	6,94	191	0,48	36,2
Северо-Западный федеральный округ		65,0	50,1	554	330	0,09	619
1	Архангельская обл.	196	0	201	342	0,07	397
2	Ненецкий АО	159	0	59,4	336	0,16	218
3	Вологодская обл.	10,1	0	39,2	269	0,19	49,3
4	Калининградская обл.	20,3	20,3	2,31	153	0,39	22,6
5	Ленинградская обл.	68,1	20,7	23,3	271	0,29	91,4
6	Мурманская обл.	12,5	5,72	56,0	386	0,16	68,5
7	Новгородская обл.	9,24	0	13,9	251	0,25	23,1
8	Псковская обл.	0,94	0,87	11,8	213	0,25	12,8
9	Республика Карелия	2,45	2,45	51,9	301	0,12	54,4
10	Республика Коми	14,1	0,0	158	380	0,13	172
Южный федеральный округ		270	8,38	53,3	90,5	0,16	323
1	Краснодарский край	8,17	0	16,0	211	0,23	24,2
2	Республика Адыгея	11,5	0	2,62	345	0,41	14,1
3	Ставропольский край	4,79	0	0,79	11,9	0,92	5,58
4	Карачаево-Черкесская Республика	0,00	0	6,28	445	0,13	6,28
5	Астраханская обл.	247	0	0,00	0		247
6	Волгоградская обл.	263	0	4,81	43,5	0,46	268
7	Ростовская обл.	21,9	4,19	3,43	34,0	0,50	25,3
8	Республика Дагестан	13,4	2,28	8,33	166	0,15	21,8
9	Кабардино-Балкарская Республика	4,54	0	2,90	232	0,26	7,45
10	Республика Калмыкия	0,23	0	1,41	18,5	0,76	1,64
11	Республика Северная Осетия — Алания	3,75	0,79	3,85	481	0,11	7,60
12	Чеченская Республика	8,43	0,17	2,13	207	0,20	10,6
13	Республика Ингушетия	1,24	0,95	0,60	66,7	0,32	1,85

№ п/п	Административная территория	Приток	Приток из-за границы	Местный сток		Сv	Общие ресурсы
				км ³ /год	мм		
Приволжский федеральный округ		113	1,59	173	167	0,21	286
1	Нижегородская обл.	98,0	0	12,1	157	0,23	110
2	Кировская обл.	13,9	0	29,1	241	0,22	43,0
3	Самарская обл.	243	0	4,61	86,0	0,34	247
4	Оренбургская обл.	5,82	1,59	7,36	59,4	0,52	13,2
5	Пензенская обл.	0,71	0	5,20	120	0,32	5,92
6	Пермский край	8,75	0	49,7	310	0,18	58,5
7	Саратовская обл.	247	0	5,49	54,8	0,44	252
8	Ульяновская обл.	236	0	4,97	133	0,30	241
9	Республика Башкортостан	10,4	0	26,3	183	0,30	36,7
10	Республика Марий Эл	111	0	3,94	170	0,19	115
11	Республика Мордовия	1,87	0	3,26	124	0,31	5,13
12	Республика Татарстан	231	0	8,52	125	0,30	239
13	Удмуртская Республика	57,7	0	8,92	212	0,26	66,6
14	Республика Чувашия	119	0	3,02	165	0,58	122
Уральский федеральный округ		217	3,22	385	215	0,18	601
1	Курганская обл.	2,74	1,31	1,04	14,6	0,87	3,78
2	Свердловская обл.	1,35	0	31,9	164	0,31	33,2
3	Тюменская обл.	243	1,92	344	240	0,17	587
4	Ханты-Мансийский АО	253	0	128	245	0,28	381
5	Ямало-Ненецкий АО	381	0	204	272	0,13	585
6	Челябинская обл.	0,82	0	7,15	81,3	0,40	7,97
Сибирский федеральный округ		59,1	59,1	1277	250	0,08	1336
1	Алтайский край	35,0	0	19,5	115	0,24	54,5
2	Республика Алтай	0	0	33,7	364	0,18	33,7
3	Красноярский край	215	0	735	314	0,12	950
4	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	629	0	297	346	0,20	927
5	Эвенкийский АО	17,9	0	240	313	0,12	258
6	Республика Хакасия	77,6	0	20,1	325	0,17	97,7
7	Иркутская обл.	140	0	175	228	0,11	314
8	Усть-Ордынский Бурятский АО	70,6	0	1,14	50,9	0,40	71,8
9	Кемеровская обл.	2,13	0	40,4	423	0,17	42,5
10	Новосибирская обл.	54,6	0	5,74	32,2	0,62	60,3
11	Омская обл.	32,9	27,4	5,65	40,4	0,52	38,6
12	Томская обл.	116	0	57,8	182	0,20	174
13	Читинская обл.	10,3	10,3	68,8	159	0,24	79,1
14	Агинский Бурятский АО	4,58	0	0,99	52,1	0,74	5,57
15	Республика Бурятия	23,2	12,7	76,2	217	0,16	99
16	Республика Тыва	8,75	8,75	39,6	232	0,18	48
Дальневосточный федеральный округ		295	82,8	1566	252	0,08	1861
1	Приморский край	5,64	5,64	41,3	249	0,26	46,9
2	Хабаровский край	249	0	244	309	0,17	493
3	Еврейская АО	205	59,9	7,26	202	0,33	212
4	Амурская обл.	83,0	17,2	84,6	233	0,33	168
5	Камчатская обл.	2,58	0	265,4	561	0,13	268
6	Корякский АО	15,0	0	134,1	444	0,18	149

№ п/п	Административная территория	Приток	Приток из-за границы	Местный сток		Сv	Общие ресурсы
				км ³ /год	мм		
7	Магаданская обл.	3,27	0	118,9	258	0,19	122
8	Чукотский АО	13,1	0	180,6	245	0,15	194
9	Сахалинская обл.	0	0	57,8	664	0,17	57,8
10	Республика Саха (Якутия)	333	0	566	182	0,12	899

Наиболее обеспечены водами местного формирования и общими ресурсами жители Архангельской области (табл. 10.2), соответственно 150 и 297 тыс. м³/год на одного человека, а наименее обеспечены жители Калининградской области. На одного жителя здесь приходится, соответственно, 2,4 и 23,6 тыс. м³/год. Удельная водообеспеченность местными и общими ресурсами 1 км² площади в округе особенно значительна в Архангельской и Мурманской областях и в Республике Коми, где она превышает 340–400 тыс. м³/км².

Южный федеральный округ

К Южному федеральному округу (см. цв. вкл., рис. 16) отнесены Республики Адыгея, Карачаево-Черкесская, Дагестан, Кабардино-Балкарская, Калмыкия, Северная Осетия—Алания, Чеченская и Ингушетия, Краснодарский и Ставропольский края, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области. Площадь территории Южного федерального округа равна 589,2 тыс. км², в его пределах проживает более 22,9 млн человек. Плотность населения составляет 38,9 человека на 1 км².

Средний годовой сток рек для территорий субъектов рассматриваемого федерального округа изменяется от 0 (Астраханская область) до 450 мм и более (Республики Северная Осетия-Алания и Карачаево-Черкесская).

Возобновляемые водные ресурсы Южного федерального округа за период с 1930 по 2005 г. составляют 323 км³: на территории округа формируется 53,3 км³, а поступает со смежных районов — 270 км³.

Структура водных ресурсов Южного федерального округа такова, что лишь в Волгоградскую и Астраханскую области поступают большие объемы вод, соответственно, 263 км³ и 247 км³. Республики Карачаево-Черкесская и Калмыкия характеризуются незначительным притоком вод в их пределы, не превышающим 0,2–0,3 км³. Наибольшие объемы местных вод формируются в пределах Краснодарского края — 16,0 км³ и Республики Дагестан —

8,33 км³, а наименьшие, не превышающие 0,8 км³, — в Астраханской области и Ставропольском крае.

Вследствие значительных объемов притока вод наибольшими водными ресурсами в округе располагают Астраханская (247 км³) и Волгоградская (268 км³) области.

Наиболее обеспечены водами местного формирования жители Карачаево-Черкесской Республики (14,3 тыс. м³/год) и Республики Адыгея (5,86 тыс. м³/год), а наименее (0–0,78 тыс. м³/год) — Астраханской и Ростовской областей.

Наиболее обеспечены общими водными ресурсами жители Астраханской (246 тыс. м³/год) и Волгоградской (99,3 тыс. м³/год) областей, а наименее — Ставропольского (2,04 тыс. м³/год) и Краснодарского (4,72 тыс. м³/год) краев.

Водообеспеченность местными водными ресурсами 1 км² площади наибольшая в Республиках Северная Осетия-Алания (481 тыс. м³/год), Карачаево-Черкесской (445 тыс. м³/год), а наименьшая — в Астраханской области (0 тыс. м³/год) и Республике Калмыкия (18,5 тыс. м³/год). Удельная природная водообеспеченность общими водными ресурсами 1 км² площади наибольшая в Волгоградской (2349 тыс. м³/год) и Астраханской (5600 тыс. м³/год) областях, а наименьшая — в Республике Калмыкия (21,6 тыс. м³/год).

Приволжский федеральный округ

К Приволжскому федеральному округу (см. цв. вкл., рис. 17) отнесены Нижегородская, Кировская, Самарская, Оренбургская, Пензенская, Саратовская, Ульяновская области, Пермский край, а также Республики: Башкортостан, Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртская и Чувашская. Площадь территории рассматриваемого округа равна 1038 тыс. км². В его пределах проживает около 31,2 млн человек. Плотность населения составляет 30 человек на 1 км².

Средний годовой сток в пределах Приволжского федерального округа изменяется от 55 мм (Саратовская область) до 310 мм (Пермский край).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы Приволжского федерального округа за период с 1930 по 2005 г. составляют 286 км³: на территории округа формируется 173 км³, со смежных территорий в него притекает 113 км³.

Структура водных ресурсов в Приволжском федеральном округе такова, что лишь в Нижегородскую, Самарскую, Саратовскую, Ульяновскую области и в Республики Марий Эл, Татарстан и Чувашскую притекают значительные объемы вод — около 100 км³ и более. Сравнительно небольшие объемы вод — менее 2 км³ — притекают в Пензенскую область и Республику Мордовия.

Наибольшими объемами водных ресурсов местного формирования в округе располагают Пермский край (49,7 км³), Кировская область (29,1 км³) и Республика Башкортостан (26,3 км³), а суммарными водными ресурсами — Нижегородская (110 км³), Ульяновская (241 км³), Самарская (247 км³), Саратовская (252 км³) области и Республики Марий Эл (115 км³), Чувашская (122 км³), Татарстан (239 км³).

Наиболее обеспечены водами местного формирования жители Кировской области (19,4 тыс. м³/год) и Пермского края (17,6 тыс. м³/год), а наименее — Самарской области (1,42 тыс. м³/год) и Чувашской Республики (2,30 тыс. м³/год). Наиболее обеспечены общими водными ресурсами жители Республики Марий Эл (158 тыс. м³/год) и Ульяновской области (174,3 тыс. м³/год), а наименее — Республики Мордовия (5,77 тыс. м³/год) и Пензенской области (4,08 тыс. м³/год).

Удельная водообеспеченность местными ресурсами 1 км² площади территории в округе наибольшая в Кировской области (241 тыс. м³/год) и Пермском крае (310 тыс. м³/год), а наименьшая — в Саратовской (54,8 тыс. м³/год) и в Оренбургской (59,4 тыс. м³/год) областях.

Уральский федеральный округ

В состав Уральского федерального округа (см. цв. вкл., рис. 18) входят Курганская, Свердловская, Челябинская, Тюменская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Площадь территории федерального округа равна 1 788 900 км². На его территории проживает около 12,4 млн человек. Плотность населения в округе составляет 6,9 человека на 1 км².

Средний годовой сток рек субъектов округа изменяется от 15 мм (Курганская область) до 272 мм (Ямало-Ненецкий автономный округ).

Ежегодно возобновляемые суммарные водные ресурсы Уральского федерального округа за период с 1936 по 2005 г. составляют в среднем 601 км³: приток вод в рассматриваемый округ со смежных территорий равен 217 км³, а на его территории формируется около 385 км³.

Структура водных ресурсов Уральского федерального округа такова, что лишь в Тюменскую область, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа поступают со смежных территорий большие объемы речного стока: соответственно, 243 км³/год, 253 км³/год и 381 км³/год.

Наибольшими водными ресурсами в федеральном округе располагают Тюменская область (587 км³/год), Ямало-Ненецкий (585 км³/год) и Ханты-Мансийский (381 км³/год) автономные округа. Тюменская область и входящие в нее указанные автономные округа обладают и наибольшими объемами местных водных ресурсов: соответственно, 344 км³/год, 204 км³/год и 128 км³/год.

В рассматриваемых автономных округах жители имеют наиболее высокую водообеспеченность как местными, соответственно 402,4 тыс. м³/год и 89,3 тыс. м³/год, так и общими: соответственно, 1154 тыс. м³/год и 266 тыс. м³/год водными ресурсами.

Удельная водообеспеченность местными и общими ресурсами 1 км² площади в Уральском федеральном округе особенно значительна в указанных автономных округах: соответственно, 272 тыс. м³/год и 245 тыс. м³/год (для вод местного формирования) и 780 тыс. м³/год и 728 тыс. м³/год (для общих ресурсов речного стока). Наименьшая удельная водообеспеченность 1 км² площади в Уральском федеральном округе водными ресурсами местного формирования и суммарными характерна для Курганской области: соответственно, 14,6 тыс. м³/год и 53,2 тыс. м³/год.

Сибирский федеральный округ

В состав Сибирского федерального округа (см. цв. вкл., рис. 19) входят 16 субъектов Российской Федерации: Республики Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия, Красноярский и Алтайский края, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская и Читинская области, Таймырский (Долгано-Ненецкий), Эвенкийский, Усть-Ордынский Бурятский, Агинский Бурятский автономные округа. Площадь территории Сибирского федерального округа равна 5 114 800 км². На его территории проживает око-

ло 20,1 млн человек. Плотность населения в округе составляет 3,9 человека на 1 км².

Средний годовой сток рек местного формирования субъектов рассматриваемого федерального округа изменяется от 32,2 мм (Новосибирская область) до 423 мм (Кемеровская область).

Ежегодно возобновляемые суммарные водные ресурсы Сибирского федерального округа за период с 1936 по 2005 г. составляют в среднем 1336 км³: приток вод на его территорию со смежных районов равен 59,1 км³, на его территории формируется 1277 км³.

Структура водных ресурсов Сибирского федерального округа такова, что наибольшие объемы притока вод характерны для Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа — 629 км³. Совсем отсутствует приток вод на территорию Республики Алтай.

Наибольшим объемом водных ресурсов в рассматриваемом федеральном округе обладает Таймырский автономный округ — 927 км³/год, а наименьшим — Агинский Бурятский автономный округ — 5,57 км³/год.

Наиболее обеспечены водами местного формирования и общими ресурсами жители Эвенкийского (13 562 тыс. м³/год и 14 579 тыс. м³/год) и Таймырского (7465 тыс. м³/год и 23 300 тыс. м³/год) автономных округов, а наименее обеспечены жители Омской (2,72 тыс. м³/год и 18,6 тыс. м³/год) и Новосибирской (2,13 тыс. м³/год и 22,4 тыс. м³/год) областей.

Удельная природная обеспеченность местными и общими водными ресурсами 1 км² площади территории особенно значительна в Республике Хакасия (325 тыс. м³/год и 1578 тыс. м³/год) и Таймырском (Долгано-Ненецком) автономном округе (346 тыс. м³/год и 1075 тыс. м³/год, соответственно). Сравнительно невысокая в данном федеральном округе России обеспеченность местными и общими водными ресурсами 1 км² площади характерна для территорий Новосибирской (32,2 тыс. м³/год и 338 тыс. м³/год), Омской (40,4 тыс. м³/год и 277 тыс. м³/год), Читинской (159 тыс. м³/год и 183 тыс. м³/год) областей и Агинского Бурятского автономного округа (52,1 тыс. м³/год и 293 тыс. м³/год).

Дальневосточный федеральный округ

К Дальневосточному федеральному округу отнесены (см. цв. вкл., рис. 20) Республика Саха (Яку-

тия), Приморский и Хабаровский края, Еврейская автономная область, Амурская, Камчатская, Магаданская и Сахалинская области, Коряжский и Чукотский автономные округа. Площадь территории Дальневосточного федерального округа равна 6 215 900 км², в его пределах проживает около 6,7 млн человек. Плотность населения в рассматриваемом федеральном округе составляет около 1,1 человека на 1 км².

Средний годовой сток с территориями субъектов Российской Федерации Дальневосточного федерального округа изменяется от 182 мм до 664 мм.

Ежегодно возобновляемые суммарные водные ресурсы Дальневосточного федерального округа за период с 1936 по 2005 г. составляют в среднем 1861 км³: на территории рассматриваемого округа формируется 1566 км³, а притекает в его пределы 295 км³.

Структура водных ресурсов Дальневосточного федерального округа такова, что значительные объемы вод в среднем за многолетний период поступают в три субъекта Федерации: Хабаровский край — 249 км³, Еврейскую автономную область — 205 км³ и в Республику Саха (Якутия) — 333 км³. Небольшие объемы притока вод характерны для Камчатской (2,58 км³) и Магаданской (3,27 км³) областей. Наибольшими объемами водных ресурсов в Дальневосточном федеральном округе располагают Республика Саха (Якутия) (899 км³), Хабаровский край (493 км³), Камчатская область (268 км³) и Еврейская автономная область (212 км³), а наименьшими — Приморский край (46,9 км³) и Сахалинская область (57,8 км³).

Потенциально наиболее обеспечены водными ресурсами местного формирования и общими ресурсами жители Корякского (5330 тыс. м³/год и 5923 тыс. м³/год) и Чукотского (3355 тыс. м³/год и 3604 тыс. м³/год) автономных округов, а наименее — жители Приморского края (19,9 тыс. м³/год и 22,6 тыс. м³/год) и Сахалинской области (106 тыс. м³/год).

Удельная водообеспеченность территорий субъектов Российской Федерации Дальневосточного федерального округа довольно значительна, по сравнению с субъектами других федеральных округов. Она особенно велика для Сахалинской (664 тыс. м³/год и 567 тыс. м³/год) и Камчатской областей (562 тыс. м³/год и 567 тыс. м³/год) и Хабаровского края (309 тыс. м³/год и 625 тыс. м³/год).

Общая водообеспеченность территории РФ представлена на цв. вкл., рис. 21.

10.3.2. Изменчивость водных ресурсов

В табл. 10.1, наряду с данными о водных ресурсах субъектов и федеральных округов Российской Федерации, приводятся сведения об изменчивости во времени вод местного формирования за период с 1930 по 2005 г. Анализ этих данных показывает, что в целом водные ресурсы местного формирования Российской Федерации имеют невысокую изменчивость — $C_V=0,06$, что весьма близко к изменчивости указанной характеристики для бывшего СССР ($C_V=0,05$). Это обстоятельство объясняется асинхронностью изменения стока и взаимной компенсацией различных по знаку его отклонений в отдельные годы по территории России.

Существенно бо́льшая изменчивость водных ресурсов местного формирования характерна для федеральных округов ($C_V=0,08–0,21$). Сибирский и Дальневосточный федеральные округа имеют одинаковую изменчивость во времени вод местного формирования: $C_V=0,08$, а изменчивость местных вод Северо-Западного федерального округа $C_V=0,09$. Таким образом, указанные выше округа характеризуются практически одинаково невысокой изменчивостью вод местного формирования.

В остальных округах (табл. 10.1) изменчивость вод местного формирования находится в пределах от $C_V=0,16$ (Южный федеральный округ) до 0,21 (Приволжский федеральный округ).

Значительно бо́льшей изменчивостью ($C_V \geq 0,30$) характеризуются водные ресурсы местного формирования отдельных субъектов Российской Федерации. Например, в Центральном федеральном округе для Воронежской ($C_V=0,58$), Ярославской ($C_V=0,48$) и Костромской ($C_V=0,35$) областей; в Северо-Западном федеральном округе высокая изменчивость водных ресурсов местного формирования характерна для Калининградской области ($C_V=0,39$); в Южном федеральном округе — для Республики Адыгея ($C_V=0,41$), Ставропольского края ($C_V=0,92$), Волгоградской ($C_V=0,46$) и Ростовской ($C_V=0,50$) областей, Республики Калмыкия ($C_V=0,76$); в Приволжском федеральном округе для Оренбургской области ($C_V=0,52$), Саратовской области ($C_V=0,44$) и Республики Чувашия ($C_V=0,58$); в Уральском федеральном округе — для Курганской области ($C_V=0,87$); в Сибирском федеральном округе — для Усть-Ордынского Бурятского автономного округа ($C_V=0,40$), Новосибирской ($C_V=0,62$) и Омской ($C_V=0,52$) областей, Агинского Бурятского автономного округа ($C_V=0,74$); в Дальнево-

сточном федеральном округе — для Еврейской автономной области ($C_V=0,33$) и Амурской области ($C_V=0,33$).

10.3.3. Водные ресурсы за маловодные периоды

Водные ресурсы местного формирования федеральных округов представляют собой суммарный объем местных вод всех субъектов Российской Федерации, находящихся в их пределах. Поэтому их колебания во времени являются следствием влияния стокообразующих факторов на формирование водных ресурсов в пределах этих округов.

Результаты выполненных исследований показывают, что колебаниям водных ресурсов местного формирования присуще наличие группировок лет разной водности и различной продолжительности. Наибольший интерес представляют группировки маловодных лет, поскольку они для различных отраслей производства и водоснабжения являются лимитирующими.

В колебаниях водных ресурсов местного формирования Центрального федерального округа России за период с 1930 по 2005 г. (табл. 10.2) чаще всего наблюдались группировки маловодных лет продолжительностью 3 года. Значения объемов вод местного формирования за периоды группировок лет пониженной водности изменялись от 0,74 до 0,95 от средней многолетней величины.

В колебаниях водных ресурсов местного формирования Северо-Западного федерального округа наблюдались группировки маловодных лет продолжительностью от 2 до 7 лет. Значения объемов вод местного формирования в рассматриваемом округе за периоды маловодных группировок лет находились в пределах 0,87–0,98 от среднего многолетнего значения. В рассматриваемом округе чаще всего встречались группировки лет пониженной водности продолжительностью 2 года.

В Южном федеральном округе наблюдались группировки лет пониженной водности продолжительностью от 3 до 9 лет. Чаще всего наблюдались группировки продолжительностью 4 года. Значения водных ресурсов местного формирования за периоды лет пониженной водности колебались в пределах от 0,86 до 0,93 от средней многолетней величины за период с 1930 по 2005 г.

В Приволжском федеральном округе продолжительность группировок маловодных лет соста-

вила за период с 1930 по 2005 г. от 2 до 8 лет. Наиболее часто наблюдались группировки продолжительностью 2 года. В периоды группировок маловодных лет местные водные ресурсы в округе изменялись от 0,67 до 0,93 от среднего многолетнего значения.

В колебаниях водных ресурсов местного формирования Уральского федерального округа за период с 1936 по 2005 г. наблюдались группировки маловодных лет продолжительностью от 2 до 8 лет. Наиболее часто группировки лет пониженной водности имели продолжительность 2 года. Значения вод местного формирования за периоды маловодных группировок составляли 0,79–0,92 от средней многолетней величины.

В колебаниях водных ресурсов местного формирования Сибирского федерального округа за период с 1936 по 2005 г. наблюдались группировки маловодных лет продолжительностью от 3 до 7 лет. Значения объемов местных водных ресурсов в рассматриваемом округе за периоды лет пониженной водности колебались в пределах 0,90–0,94 от средней многолетней величины.

В колебаниях водных ресурсов местного формирования Дальневосточного федерального округа за период 1936–2005 гг. обнаружены группировки лет продолжительностью 2 и 3 года. Значения объемов местных водных ресурсов в Дальневосточном округе за периоды лет пониженной водности колебались от 0,90 до 0,93 от средней многолетней величины.

Местные водные ресурсы субъектов РФ представляют собой суммарный годовой сток всех рек и водотоков, протекающих в их пределах. Эти ресурсы наиболее широко используются в многочисленных видах хозяйственной деятельности (орошение земель, водоснабжение и др.).

Однако их годовые значения испытывают значительные колебания во времени. Основными факторами их формирования являются годовая сумма осадков и ее внутригодовое распределение, солнечная радиация, скорость ветра, облачность и др., т. е. атмосферная циркуляция и ее проявления над конкретными субъектами, в зависимости от направления переноса влажных воздушных масс и рельефа местности. Именно взаимодействие циркуляционных факторов с факторами подстилающей поверхности приводит к своеобразной динамике местного стока субъектов РФ. Установлено, что изменения местных водных ресурсов субъектов Федерации во времени носят циклический характер, с появлени-

ем как отдельных маловодных, многоводных и средних по водности лет, так и их группировок разной продолжительности. За периоды указанных группировок осредненные значения местных водных ресурсов субъектов Федерации существенно отличаются от их средних многолетних величин.

Особое значение имеют маловодные группировки, поскольку их продолжительность в течение нескольких лет может существенно сказаться на водоснабжении населения, на орошении и обводнении земель и на других видах хозяйственной деятельности.

В табл. 10.3 для всех субъектов Федерации приведены данные о маловодных группировках лет за периоды 1930–2005 гг. (европейская часть) и 1936–2005 гг. (азиатская часть).

Из рассмотрения этих данных видно, что в отдельных субъектах федеральных округов России группировки маловодных лет имеют продолжительность от 2 до 20 лет. В Центральном федеральном округе наиболее продолжительные группировки маловодных лет наблюдались в Московской — 13 лет — (1933–1945 гг.) и Смоленской — 14 лет — (1971–1984 гг.) областях. Средние значения местного стока за этот период составили, соответственно, 0,78 и 0,86 от многолетней величины. Наиболее глубокие маловодья в Центральном федеральном округе наблюдались в Воронежской области в 1948–1950 гг., когда значение местных водных ресурсов было равно 0,54 от многолетней величины, и в Ярославской области (1939–1941 гг.) — всего 0,44 от среднего многолетнего значения.

В Северо-Западном федеральном округе наиболее продолжительные группировки маловодных лет за период наблюдений (1930–2005 гг.) отмечались в Калининградской области (1930–1942 гг.) и в Новгородской области (1937–1949 гг.). Средние за этот период значения местного стока в указанных областях составили 0,78 от его среднего многолетнего значения. Наименьшие значения местного стока — 0,47 — отмечены в Калининградской области для двухлетней группировки (1968–1969 гг.) и в Ленинградской области — 0,58 — также для двухлетней группировки (2003–2004 гг.).

В субъектах Федерации Южного федерального округа наибольшая продолжительность маловодных группировок за период 1930–2005 гг. наблюдалась в Чеченской Республике — 18 лет — (1940–1957 гг.) и в Республике Калмыкия — 20 лет — (1961–1980 гг.). Средние значения водных ресурсов за указанные периоды соответственно равны 0,75 и 0,60 от своих

Таблица 10.2

Местные водные ресурсы федеральных округов РФ в периоды группировок лет пониженной водности, км³/год

Федеральный округ	Периоды пониженной водности	Местные водные ресурсы				
		среднее многолетнее значение	среднее значение за периоды пониженной водности	среднее значение за периоды пониженной водности относительно среднего многолетнего значения		
Российская Федерация	1936–1937	4118	3821	0,93		
	1939–1940		3957	0,96		
	1945–1946		3821	0,93		
	1952–1957		3870	0,94		
	1963–1965		3937	0,96		
	1967–1970		4008	0,97		
	1975–1977		3827	0,93		
	1987–1988		4004	0,97		
	1992–1993		4027	0,98		
	Центральный федеральный округ		1934–1935	108	100	0,93
1937–1940		82,3	0,76			
1943–1946		92,3	0,85			
1948–1951		88,8	0,82			
1959–1961		100	0,93			
1963–1965		89,7	0,83			
1967–1969		94,5	0,87			
1971–1973		80,5	0,74			
1975–1977		84,9	0,78			
1988–1989		103	0,95			
Северо-Западный федеральный округ	1933–1934	554	540	0,97		
	1936–1942		487	0,88		
	1945–1947		521	0,94		
	1950–1951		541	0,98		
	1959–1960		482	0,87		
	1963–1965		543	0,98		
	1969–1970		525	0,95		
	1972–1977		526	0,95		
	Южный федеральный округ		1933–1939	53,3	45,8	0,86
			1947–1955		47,2	0,89
1959–1962		47,9	0,90			
1964–1967		49,0	0,92			
1971–1976		46,6	0,87			
Приволжский федеральный округ	1930–1931	173	151	0,88		
	1933–1940		116	0,67		
	1944–1945		154	0,89		
	1949–1956		148	0,86		
	1959–1962		161	0,93		
	1972–1973		148	0,86		
	1975–1977		127	0,73		
	1988–1989		161	0,93		

Окончание табл. 10.2

Федеральный округ	Периоды пониженной водности	Местные водные ресурсы		
		среднее многолетнее значение	среднее значение за периоды пониженной водности	среднее значение за периоды пониженной водности относительно среднего многолетнего значения
Уральский федеральный округ	1936–1940	385	316	0,82
	1944–1945		348	0,91
	1951–1958		311	0,81
	1960–1961		355	0,92
	1967–1969		304	0,79
	1976–1977		313	0,81
	1988–1989		322	0,84
Сибирский федеральный округ	1943–1946	1277	1206	0,94
	1953–1957		1151	0,90
	1963–1969		1187	0,93
	1976–1982		1191	0,93
	1985–1987		1170	0,92
Дальневосточный федеральный округ	1948–1949	1566	1424	0,91
	1952–1954		1414	0,90
	1975–1977		1442	0,92
	1986–1988		1458	0,93
	1992–1993		1406	0,90

многолетних величин. Наиболее глубокие маловодья наблюдались в Ставропольском крае в 1994–1995 гг. и в Республике Калмыкия (1947–1953 гг.). Водные ресурсы местного формирования для указанных субъектов РФ в эти периоды составили 0,15 и 0,23 от соответствующих многолетних значений.

В субъектах Приволжского федерального округа наиболее продолжительные маловодные группировки — 14 лет — наблюдались в Республиках Марий Эл (1930–1943 гг.) и Удмуртия — 11 лет — (1930–1940 гг.). Средние значения местных водных ресурсов за эти периоды составили 0,87 и 0,70 от их средних многолетних величин. Наиболее глубокие маловодья наблюдались в Оренбургской (1930–1940 гг.) и Саратовской (1933–1940 гг.) областях. Значения местных водных ресурсов за указанные периоды составляли, соответственно, 0,43 и 0,47 от многолетних величин. Глубокие маловодья отмечались также на реках Республики Чувашия и Самарской области, соответственно, в периоды 1949–1956 гг. и 1933–1940 гг. Здесь значения местных водных ресурсов были равны, соответственно, 0,44 и 0,49 от средних многолетних величин.

В Уральском федеральном округе наибольшая продолжительность группировок маловодных рек — 11 лет — за период с 1936 по 2005 г. наблюдалась в

Таблица 10.3

Изменения водных ресурсов местного формирования в периоды группировок маловодных лет в субъектах РФ

№ п/п в фед. округах	Республика, область, край, федеральный округ	Площадь, тыс. км ²	Продолжительность маловодных группировок (число лет)	Пределы изменения водных ресурсов (в долях от многолетнего значения)
Российская Федерация		17 075,4	2–6	0,93–0,98
Центральный ФО		650,7	2–4	0,74–0,93
1	Белгородская обл.	27,1	2–7	0,60–0,70
2	Брянская обл.	34,9	3–6	0,71–0,81
3	Владимирская обл.	29,0	2–10	0,59–0,76
4	Воронежская обл.	52,4	2–9	0,54–0,66
5	Ивановская обл.	21,8	3–10	0,77–0,86
6	Тверская обл.	84,1	3–9	0,66–0,82
7	Калужская обл.	29,9	3–8	0,65–0,81
8	Костромская обл.	60,1	2–11	0,61–0,76
9	Курская обл.	29,8	2–6	0,66–0,81
10	Липецкая обл.	24,1	2–6	0,66–0,80
11	Московская обл.	47,0	4–13	0,74–0,82
12	Орловская обл.	24,7	2–7	0,65–0,84
13	Рязанская обл.	39,6	2–9	0,64–0,88
14	Смоленская обл.	49,8	2–14	0,77–0,90
15	Тамбовская обл.	34,3	2–8	0,63–0,92
16	Тульская обл.	25,7	2–6	0,68–0,86
17	Ярославская обл.	36,4	3–6	0,44–0,72
Северо-Западный ФО		1677,9	2–7	0,87–0,97
1	Архангельская обл.	587,4	2–4	0,88–0,95
2	Ненецкий АО	176,7	2–7	0,77–0,90
3	Вологодская обл.	145,7	3–10	0,76–0,89
4	Калининградская обл.	15,1	2–13	0,47–0,78
5	Ленинградская обл.	85,9	2–7	0,58–0,75
6	Мурманская обл.	144,9	2–9	0,80–0,88
7	Новгородская обл.	55,3	2–13	0,69–0,79
8	Псковская обл.	55,3	2–9	0,66–0,84
9	Республика Карелия	172,4	2–10	0,77–0,96
10	Республика Коми	415,9	3–9	0,85–0,92
Южный ФО		589,2	3–9	0,86–0,92
1	Краснодарский край	76,0	2–9	0,77–0,91
2	Республика Адыгея	7,6	2–9	0,57–0,81
3	Ставропольский край	66,5	2–10	0,15–0,62
4	Карачаево-Черкесская Республика	14,1	4–7	0,89–0,95
5	Астраханская обл.	44,1	0	0
6	Волгоградская обл.	114,1	2–10	0,50–0,69
7	Ростовская обл.	100,8	3–7	0,55–0,84
8	Республика Дагестан	50,3	2–8	0,8–0,89
9	Кабардино-Балкарская Республика	12,5	2–8	0,68–0,91

Продолжение табл. 10.3

№ п/п в фед. округах	Республика, область, край, федеральный округ	Площадь, тыс. км ²	Продолжительность маловодных группировок (число лет)	Пределы изменения водных ресурсов (в долях от многолетнего значения)
10	Республика Калмыкия	76,1	5–20	0,23–0,6
11	Республика Северная Осетия — Алания	8,00	2–12	0,87–0,92
12	Чеченская Республика	(10,3)	2–18	0,75–0,87
13	Республика Ингушетия	(9,0)	4–10	0,69–0,89
Приволжский ФО		1038	2–8	0,67–0,93
1	Нижегородская обл.	76,9	3–9	0,67–0,81
2	Кировская обл.	120,8	2–10	0,72–0,89
3	Самарская обл.	53,6	3–8	0,49–0,77
4	Оренбургская обл.	124,0	2–8	0,43–0,74
5	Пензенская обл.	43,2	2–7	0,55–0,85
6	Пермский край	160,6	2–9	0,75–0,91
7	Саратовская обл.	100,2	2–8	0,47–0,78
8	Ульяновская обл.	37,3	3–8	0,55–0,84
9	Республика Башкортостан	143,6	3–8	0,63–0,74
10	Республика Марий Эл	23,2	2–14	0,72–0,9
11	Республика Мордовия	26,2	2–8	0,62–0,82
12	Республика Татарстан	68,0	3–8	0,57–0,89
13	Удмуртская Республика	42,1	3–11	0,64–0,87
14	Чувашская Республика	18,3	3–8	0,44–0,56
Уральский ФО		1788,9		
1	Курганская обл.	71,0	2–4	0,18–0,53
2	Свердловская обл.	194,8	2–7	0,61–0,93
3	Тюменская обл., в т. ч.	1435,2	2–8	0,82–0,9
4	Ханты-Мансийский АО	523,1	2–11	0,7–0,8
5	Ямало-Ненецкий АО	750,3	2–6	0,83–0,95
6	Челябинская обл.	87,9	2–9	0,6–0,83
Сибирский ФО		5114,8		
1	Республика Алтай	92,6	3–5	0,76–0,86
2	Республика Бурятия	351,3	2–6	0,82–0,93
3	Республика Тыва	170,5	4–10	0,8–0,88
4	Республика Хакасия	61,9	2–4	0,81–0,89
5	Алтайский край	169,1	2–8	0,68–0,84
6	Красноярский край, в т. ч.	2339,7	2–10	0,84–0,93
7	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	862,1	3–16	0,82–0,89
8	Эвенкийский АО	767,6	2–9	0,89–0,94
9	Иркутская обл., в т. ч.	767,9	2–13	0,56–0,93

Окончание табл. 10.3

№ п/п в фед. округах	Республика, область, край, федеральный округ	Площадь, тыс. км ²	Продолжительность маловодных группировок (число лет)	Пределы изменения водных ресурсов (в долях от многолетнего значения)
10	Усть-Ордынский Бурятский АО	22,4	2–8	0,65–0,78
11	Кемеровская обл.	95,5	2–3	0,71–0,88
12	Новосибирская обл.	178,2	3–7	0,23–0,56
13	Омская обл.	139,7	4–6	0,30–0,69
14	Томская обл.	316,9	5–10	0,71–0,94
15	Читинская обл., в т. ч.	431,5	2–9	0,66–0,85
16	Агинский Бурятский АО	19,0	2–10	0,32–0,75
Дальневосточный ФО		6215,9		
1	Республика Саха (Якутия)	3103,2	2–5	0,86–0,92
2	Приморский край	165,9	2–6	0,7–0,86
3	Хабаровский край	788,6	2–8	0,76–0,87
4	Амурская обл.	363,7	2–7	0,48–0,8
5	Камчатская обл.	472,3	2–4	0,85–0,9
6	Магаданская обл.	461,4	2–5	0,64–0,86
7	Сахалинская обл.	87,1	2–5	0,72–0,87
8	Еврейская АО	36,0	2–10	0,71–0,84
9	Чукотский АО	737,7	2–4	0,79–0,94

Ханты-Мансийском автономном округе (с 1936 по 1946 г.). Среднее значение местного стока за указанную группировку лет составило 0,77 от средней многолетней величины за весь период наблюдений. Наиболее глубокие маловодья характерны для Курганской области. Например, среднее значение водных ресурсов местного формирования за 1966–1969 гг. составило всего 0,18 от средней многолетней величины.

В субъектах Сибирского федерального округа наибольшая продолжительность маловодных группировок — 16 лет — (1975–1990 гг.) наблюдалась в Таймырском автономном округе и в Иркутской области — 13 лет — (1962–1974 гг.). Средние значения водных ресурсов местного формирования за указанные периоды составили 0,89 от средней многолетней величины. Наиболее глубокие маловодья на реках в рассматриваемом федеральном округе происходят в Новосибирской и Омской областях. Например, в период 2003–2005 гг. среднее значение водных ресурсов местного формирования в Новосибирской области составляло всего 0,23, а в Омской области за период с 1981 по 1986 г. — 0,30 от соответствующих средних многолетних величин.

В субъектах Федерации Дальневосточного федерального округа в многолетних колебаниях водных ресурсов местного формирования наблюдаются группировки маловодных лет продолжительностью от 2 до 5 лет, за исключением Амурской области и Хабаровского края, где они могут доходить до 7–8 лет, и даже до 10 лет — в Еврейской автономной области. В течение маловодной группировки лет в Амурской области, продолжительностью 7 лет (1974–1980 гг.), отмечалось глубокое маловодье: среднее значение вод местного формирования за указанный период составило лишь 0,48 от средней многолетней величины. В Хабаровском крае 8-летняя маловодная группировка (1962–1969 гг.) характеризовалась средним значением водных ресурсов местного формирования на 11% ниже средней многолетней величины. В Еврейской автономной области среднее значение вод местного формирования за маловодный период (1993–2002 гг.) было ниже многолетней величины на 23%.

В колебаниях местных водных ресурсов Российской Федерации чаще всего встречаются группировки маловодных лет продолжительностью 2, реже 3 года, и один раз (1952–1957 гг.) наблюдалась группировка продолжительностью 6 лет. Значения объемов вод местного формирования в указанные группировки лет пониженной водности находились в пределах 0,93–0,98 от среднего многолетнего (за период 1936–2005 гг.) значения.

Полученные данные по группировкам лет пониженной водности (их продолжительности и по объемам вод) могут быть косвенно использованы в пределах отдельных субъектов Российской Федерации, в случае наличия маловодного года на их территории, для возможной оценки на ближайший год состояния водности на реках, формирующих свой сток в пределах этих административно-территориальных единиц.

10.4. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТНОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Исследование динамики вод местного формирования субъектов Российской Федерации и федеральных округов стало возможным вследствие разработанных в Государственном гидрологиче-

ском институте систем линейных уравнений стока для всех элементов водных ресурсов (приток вод, местные водные ресурсы, отток, общие ресурсы и др.) (Водные ресурсы СССР... 1987). В табл. 10.1 приведены данные о среднесуточных значениях элементов водных ресурсов административно-территориальных единиц Российской Федерации и об изменчивости вод местного формирования, характеризуемой коэффициентом вариации C_v . Ниже приводятся результаты исследования динамики вод местного формирования административно-территориальных единиц России, включая анализ его рядов на наличие линейных трендов и стационарность.

Согласно исследованиям многих отечественных ученых (Андреянов, 1959; Воскресенский, 1962; Кузин, 1970 и др.), колебания речного стока во времени являются циклическими. Циклы водности являются следствием наличия длительных периодов влажных и засушливых лет разной продолжительности. Эти циклы, выделяемые с помощью предварительно построенных разностных интегральных кривых стока, использовались ранее и используются в настоящее время для оценки «норм» стока рек.

Позже было показано, что колебания во времени характеристик водных ресурсов административно-территориальных образований также являются циклическими (Бабкин, Воскресенский, 1976).

Наличие циклическости в колебаниях водных ресурсов указывает на то, что основные факторы формирования водных ресурсов и их динамики во времени содержат в себе периодические составляющие колебаний разной амплитуды и частоты (Бабкин и др. 1999).

10.4.1. Результаты исследований рядов местных водных ресурсов на стационарность (однородность)

Водные ресурсы местного формирования субъектов и федеральных округов Российской Федерации, оцененные за отдельные годы периода 1930–2005 гг. (для европейской части России) и 1936–2005 гг. (для азиатской части), содержат в своем составе интервалы времени, в течение которых их динамика может быть нарушена либо односторонними изменениями климатических факторов, либо влиянием хозяйственной деятельности. По-

этому необходима проверка однородности (стационарности) рядов водных ресурсов местного формирования.

Для оценки однородности (стационарности) временных рядов водных ресурсов субъектов и федеральных округов Российской Федерации был использован классический метод проверки гипотез — критерии Стьюдента и Фишера (Дейвид, 1979; Пространственно-временные колебания стока рек СССР, 1988; Shiklomanov and Rodda, 2003; и др.). Методология использования этих критериев представлена в гл. 5.

Одновременно производился анализ временных рядов водных ресурсов местного формирования субъектов Федерации на наличие (отсутствие) линейного тренда (Бронштейн, Семендяев, 1967; Поляк, 1975; Дейвид, 1979; Пространственно-временные колебания стока рек СССР, 1988).

Для оценки рядов водных ресурсов местного формирования на однородность (стационарность) были выделены два периода: 1930–1979 гг. (для административных территорий, находящихся в пределах европейской части России) и, соответственно, 1936–1979 гг. (для административных территорий, расположенных в азиатской части нашей страны), с одной стороны, и 1980–2005 гг., с другой, различающиеся, главным образом, по климатическим условиям.

Результаты анализа на однородность рядов водных ресурсов местного формирования субъектов Федерации, федеральных округов и России в целом представлены в табл. 10.4. Из табл. 10.4 видно, что полностью однородными как по дисперсии (критерий Фишера), так и по среднему значению (критерий Стьюдента) являются местные водные ресурсы за указанные периоды для 27 субъектов Федерации и двух федеральных округов (Сибирского и Дальневосточного). Неоднородными являются ряды водных ресурсов местного формирования 15 субъектов Федерации.

Водные ресурсы местного формирования Российской Федерации остальных 44 субъектов и пяти федеральных округов являются либо стационарными по дисперсии и нестационарными по среднему значению, либо они нестационарны по дисперсии и стационарны по среднему значению. В частности, только по среднему значению стационарны 12 субъектов, а только по дисперсии — 32 субъекта и 5 федеральных округов. Таким образом, нестационарными или частично нестационарными следует признать водные ресурсы местного

формирования 59 субъектов РФ и 5 федеральных округов (за исключением Сибирского и Дальневосточного), а также Российской Федерации в целом. Наличие нестационарных водных ресурсов местного формирования 59 субъектов Федерации указывает на заметное влияние изменений климата на водные ресурсы за последние годы (1985–2005 гг.).

10.4.2. Результаты исследований линейных трендов в рядах местных водных ресурсов

Динамика вод местного формирования исследована для всех субъектов Российской Федерации, федеральных округов и России в целом. В качестве примера на рис. 10.1–10.7 приведена динамика местных водных ресурсов 14 субъектов РФ (по два субъекта на федеральный округ).

Оценка наличия (либо отсутствия) линейного тренда в многолетних колебаниях местных водных ресурсов производилась с использованием методики (Поляк, 1975), подробно описанной в гл. 5 настоящей монографии. Анализ полученных данных показал, что значимых по этой методике трендов в динамике местных водных ресурсов всех субъектов РФ, федеральных округов и Российской Федерации в целом не обнаружено. Между тем в колебаниях вод местного формирования значительного коли-

чества административно-территориальных единиц (Республика Коми, Московская область, Кировская область и др.) явно присутствуют тенденции трендов.

10.4.3. Изменения местных водных ресурсов за период 1985–2005 гг. по отношению к периоду 1930–1984 гг.

Несмотря на отсутствие значимых трендов в колебаниях водных ресурсов за весь период наблюдений они испытывают существенные изменения за отдельные многолетние периоды. Эти изменения стали особенно заметными за последние 25–30 лет. Они обусловлены, по-видимому, изменениями в климатической системе, в процессах общей циркуляции атмосферы применительно к территории Российской Федерации, являющимися следствием взаимодействия вод океана, атмосферы и суши с энергией солнечной радиации.

Неоднократное разогревание вод в тропической зоне Мирового океана на несколько градусов выше относительно среднего многолетнего значения (годы появления мощных Эль-Ниньо) приводит к переносу скрытого тепла и водяного пара из тропических широт в умеренные, росту в последних (над Северной Атлантикой) контрастов температур и, как следствие, к усилению здесь процессов образования циклонов. Одновременно происходит

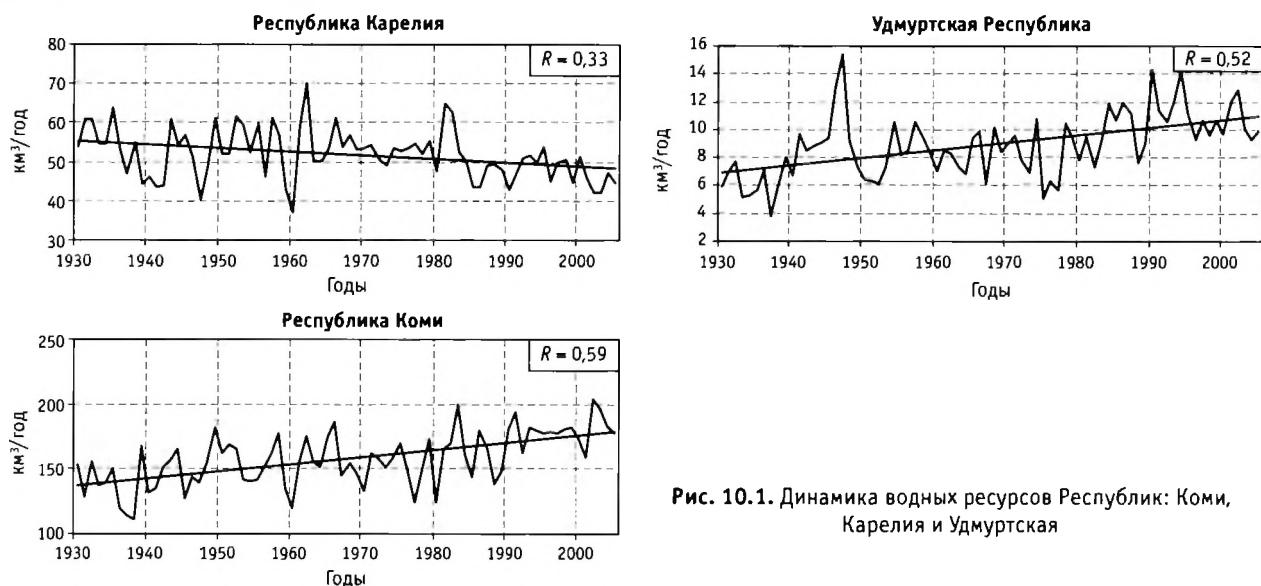


Рис. 10.1. Динамика водных ресурсов Республик: Коми, Карелия и Удмуртская



Рис. 10.2. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Центральном федеральном округе



Рис. 10.3. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Приволжском федеральном округе

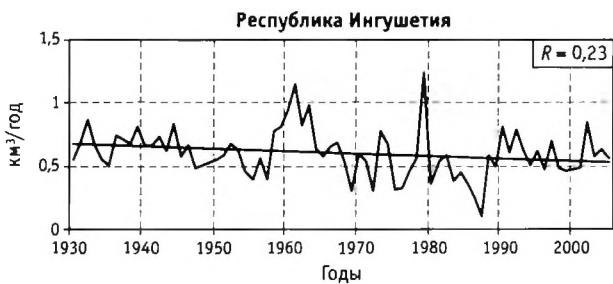


Рис. 10.4. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Южном федеральном округе



Рис. 10.5. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Уральском федеральном округе

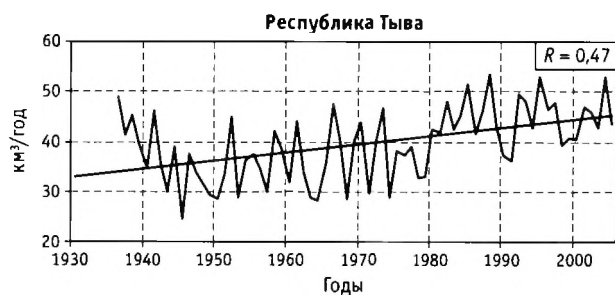


Рис. 10.6. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Сибирском федеральном округе

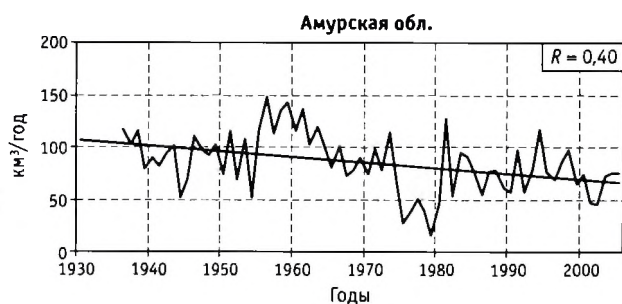


Рис. 10.7. Динамика водных ресурсов субъектов РФ в Дальневосточном федеральном округе

Таблица 10.4

Проверка рядов местных водных ресурсов административных территорий Российской Федерации на однородность (стационарность) по методикам Фишера и Стьюдента

№ п/п	Субъект федерации, федеральный округ	Период, гг.	Среднее, км³/год	С _v	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
Российская Федерация		1936–2005	4118	0,06	+	–
Центральный ФО		1930–2005	108	0,20	+	–
1	Белгородская обл.	1930–2005	2,51	0,32	–	–
2	Брянская обл.	1930–2005	5,37	0,26	+	–
3	Владимирская обл.	1930–2005	4,86	0,31	–	–
4	Воронежская обл.	1930–2005	3,30	0,58	–	+
5	Ивановская обл.	1930–2005	4,47	0,21	+	+
6	Тверская обл.	1930–2005	17,6	0,27	+	+
7	Калужская обл.	1930–2005	5,35	0,29	+	+
8	Костромская обл.	1930–2005	16,4	0,35	+	–
9	Курская обл.	1930–2005	3,60	0,28	–	+
10	Липецкая обл.	1930–2005	2,59	0,27	+	+
11	Московская обл.	1930–2005	8,48	0,30	+	–
12	Орловская обл.	1930–2005	3,47	0,25	–	+
13	Рязанская обл.	1930–2005	5,53	0,31	+	+
14	Смоленская обл.	1930–2005	10,3	0,24	+	+
15	Тамбовская обл.	1930–2005	3,67	0,32	+	+
16	Тульская обл.	1930–2005	3,88	0,22	+	+
17	Ярославская обл.	1930–2005	6,94	0,48	–	–
Северо-Западный ФО		1930–2005	554	0,09	+	–
1	Архангельская обл.	1930–2005	201	0,07	+	+
2	Ненецкий АО	1930–2005	59,4	0,16	+	–
3	Вологодская обл.	1930–2005	39,2	0,19	–	+
4	Калининградская обл.	1930–2005	2,31	0,39	+	–
5	Ленинградская обл.	1930–2005	23,3	0,29	–	+
6	Мурманская обл.	1930–2005	56,0	0,16	–	–
7	Новгородская обл.	1930–2005	13,9	0,25	+	–
8	Псковская обл.	1930–2005	11,8	0,25	+	–
9	Республика Карелия	1930–2005	51,9	0,12	+	–
10	Республика Коми	1930–2005	158	0,13	+	–

Продолжение табл. 10.4

№ п/п	Субъект федерации, федеральный округ	Период, гг.	Среднее, км ³ /год	C _v	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
Южный ФО		1930–2005	53,3	0,16	+	–
1	Краснодарский край	1930–2005	16,0	0,23	–	–
2	Республика Адыгея	1930–2005	2,62	0,41	–	–
3	Ставропольский край	1930–2005	0,79	0,92	–	+
4	Карачаево-Черкесская Республика	1930–2005	6,28	0,13	+	–
5	Астраханская обл.	1930–2005	0,00			
6	Волгоградская обл.	1930–2005	4,81	0,46	–	+
7	Ростовская обл.	1930–2005	3,43	0,50	–	–
8	Республика Дагестан	1930–2005	8,33	0,15	–	+
9	Кабардино-Балкарская Республика	1930–2005	2,90	0,26	+	–
10	Республика Калмыкия	1930–2005	1,41	0,76	–	–
11	Республика Северная Осетия — Алания	1930–2005	3,85	0,11	–	–
12	Чеченская Республика	1930–2005	2,13	0,20	+	–
13	Республика Ингушетия	1930–2005	0,60	0,32	+	–
Приволжский ФО		1930–2005	173	0,21	+	–
1	Нижегородская обл.	1930–2005	12,1	0,23	+	–
2	Кировская обл.	1930–2005	29,1	0,22	+	–
3	Самарская обл.	1930–2005	4,61	0,34	+	–
4	Оренбургская обл.	1930–2005	7,36	0,52	–	+
5	Пензенская обл.	1930–2005	5,20	0,32	+	+
6	Пермский край	1930–2005	49,7	0,18	+	–
7	Коми-Пермский АО	1930–2005	8,35	0,20	+	–
8	Саратовская обл.	1930–2005	5,49	0,44	–	+
9	Ульяновская обл.	1930–2005	4,97	0,30	+	–
10	Республика Башкортостан	1930–2005	26,3	0,30	+	–
11	Республика Марий Эл	1930–2005	3,94	0,19	+	–
12	Республика Мордовия	1930–2005	3,26	0,31	+	+

Продолжение табл. 10.4

№ п/п	Субъект федерации, федеральный округ	Период, гг.	Среднее, км ³ /год	C _v	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
13	Республика Татарстан	1930–2005	8,52	0,30	–	–
14	Удмуртская Республика	1930–2005	8,92	0,26	+	–
15	Республика Чувашия	1930–2005	3,02	0,58	+	–
Уральский ФО		1936–2005	385	0,18	+	–
1	Курганская обл.	1936–2005	1,04	0,87	–	–
2	Свердловская обл.	1936–2005	31,9	0,31	+	–
3	Тюменская обл.	1936–2005	344	0,17	+	–
4	Ханты-Мансийский АО	1936–2005	128	0,28	+	–
5	Ямало-Ненецкий АО	1936–2005	204	0,13	+	+
6	Челябинская обл.	1930–2005	7,15	0,40	+	–
Сибирский ФО		1936–2005	1277	0,08	+	+
1	Алтайский край	1936–2005	19,5	0,24	+	+
2	Республика Алтай	1936–2005	33,7	0,18	+	+
3	Красноярский край	1936–2005	735	0,12	+	+
4	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	1936–2005	297	0,20	+	+
5	Эвенкийский АО	1936–2005	240	0,12	+	+
6	Республика Хакасия	1936–2005	20,1	0,17	+	+
7	Иркутская обл.	1936–2005	175	0,11	+	+
8	Усть-Ордынский Бурятский АО	1936–2005	1,14	0,40	+	+
9	Кемеровская обл.	1936–2005	40,4	0,17	–	+
10	Новосибирская обл.	1936–2005	5,74	0,62	–	–
11	Омская обл.	1936–2005	5,65	0,52	+	–
12	Томская обл.	1936–2005	57,8	0,20	–	–
13	Читинская обл.	1936–2005	68,8	0,24	–	+
14	Агинский Бурятский АО	1936–2005	0,99	0,74	–	–
15	Республика Бурятия	1936–2005	76,2	0,16	+	+
16	Республика Тыва	1936–2005	39,6	0,18	+	–
Дальневосточный ФО		1936–2005	1566	0,08	+	+
1	Приморский край	1936–2005	41,3	0,26	+	+
2	Хабаровский край	1936–2005	244	0,17	+	–
3	Еврейская АО	1936–2005	7,26	0,33	+	+

Окончание табл. 10.4

№ п/п	Субъект федерации, федеральный округ	Период гг.	Среднее, км ³ /год	С	Однородность ряда по критерию	
					Фишера	Стьюдента
4	Амурская обл.	1936–2005	84,6	0,33	–	–
5	Камчатская обл.	1936–2005	265,4	0,13	+	–
6	Корякский АО	1936–2005	134,1	0,18	+	+
7	Магаданская обл.	1936–2005	118,9	0,19	+	+
8	Чукотский авт. окр.	1936–2005	180,6	0,15	+	+
9	Сахалинская обл.	1936–2005	57,8	0,17	+	+
10	Республика Саха (Якутия)	1936–2005	566	0,12	+	–

Примечания. «+» — ряд стационарен (однороден); «–» — ряд нестационарен (неоднороден)

активизация процессов циклоногенеза и над другими территориями и акваториями морей. Циклоны, выходящие на территорию России, например из Северной Атлантики, стали зарождаться чаще, чем ранее, над более южными ее акваториями, имеющими более высокую температуру водной поверхности. Эти циклоны стали более «водолюбивыми», и из них выпадает большее количество осадков. Другой важной особенностью циклонов, орошающих территорию нашей страны, является то обстоятельство, что они стали чаще приходить в зимнее время, что способствует увеличению стока в зимний период, поскольку в указанное время потери его на испарение минимальны.

Одновременно происходит некоторое изменение направления движения циклонов над территорией России. Например, траектории Средиземноморских и Черноморских циклонов, водолюбивость которых выше, чем Атлантических, стали чаще смещаться по направлению к северо-западу и северу нашей страны.

Происходящие изменения в многолетнем режиме погоды на территории России нашли отражение в объемах водных ресурсов местного формирования за последние 25–30 лет.

В табл. 10.5 приведены результаты исследований по оценке изменений водных ресурсов местного формирования в субъектах РФ за период с 1985 по 2005 г. по отношению к более раннему периоду (1930–1984 гг. — в субъектах европейской части России и 1936–1984 гг. — в субъектах ее азиатской части).

Из табл. 10.5 следует, что в 61 субъекте РФ водные ресурсы местного формирования за 1985–2005 г. были выше среднего многолетнего их значения за

более ранний период (1930–1984 или 1936–1984 гг.), в 22 субъектах — ниже, а в 3 — Орловской, Астраханской и Сахалинской областях они остались без изменений. Суммарный объем увеличения водных ресурсов в субъектах РФ всех федеральных округов составил 273 км³/год (6,8%), а снижения — 69,6 км³/год (1,7%). Практически во всех федеральных округах водные ресурсы местного формирования превышали среднее многолетнее значение.

Для Российской Федерации в целом средние значения водных ресурсов за 1985–2005 гг. превысили свои средние многолетние значения на 5%.

Общая картина изменения водных ресурсов субъектов РФ за период 1985–2005 гг. по отношению к периоду 1936–1984 гг. для всех федеральных округов показана на рис. 10.8.

10.4.4. Природная удельная водообеспеченность населения и территории в различные по водности годы

Динамика водных ресурсов во времени, проявляющаяся в смене лет различной водности и появлении серий маловодных, средних по водности и многоводных лет, способствует колебаниям удельной природной водообеспеченности населения и территории нашего государства.

Изучение показателей удельной природной водообеспеченности субъектов Российской Федерации имеет особое значение для разработки схем развития производительных сил на территории нашей страны, государственных и региональных документов по использованию водных ресурсов и охране их от истощения и загрязнения.

С этой целью были выполнены исследования по оценке показателей водообеспеченности субъектов РФ в реальные годы различной водности. Анализ результатов проведенных исследований показал, что природная удельная водообеспеченность в многоводные и маловодные годы может различаться для отдельных субъектов в десятки раз. Наибольшие различия в оценках удельной природной водообеспеченности в многоводные и маловодные годы характерны для следующих субъектов РФ, входящих в соответствующие округа: Центральный федеральный округ (Воронежская область — 28,8 раз), Северо-Западный федеральный округ (Ленинградская область — 21,8 раза), Южный федеральный округ

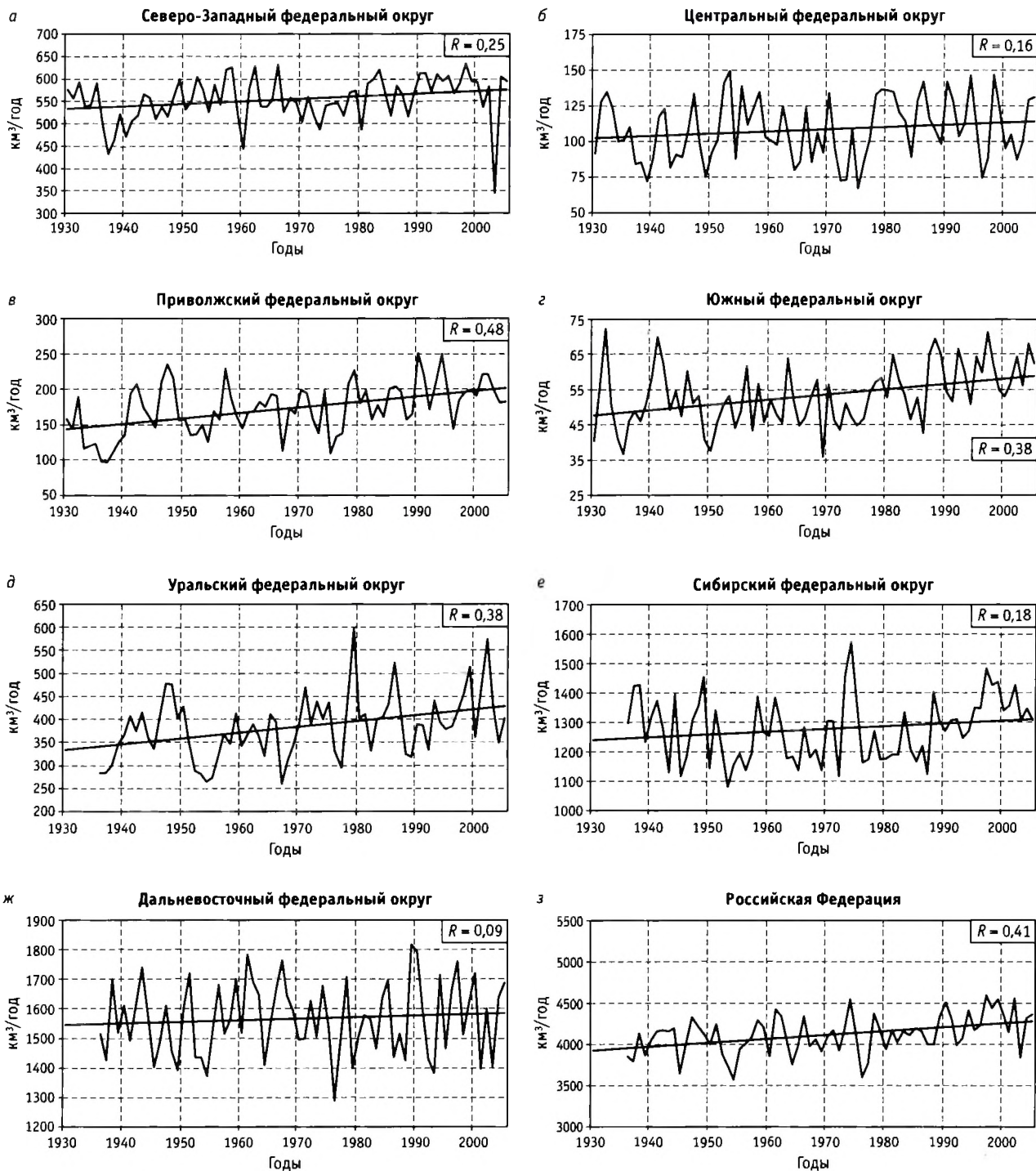


Рис. 10.8. Динамика водных ресурсов федеральных округов Российской Федерации

Таблица 10.5

Местные водные ресурсы субъектов Российской Федерации за различные периоды, км³/год

№ п/п. по фед. округам	Республика, область, край, федеральный округ	Водные ресурсы за период (гг.)		Изменение местных водных ресурсов	
		1936–1984	1985–2005	км ³ /год	%
Российская Федерация		4040	4246	206	5,10
Центральный федеральный округ		105	112	7	6,67
1	Белгородская обл.	2,54	2,46	-0,08	-3,15
2	Брянская обл.	5,07	2,46	-2,61	-51,5
3	Владимирская обл.	4,5	5,53	1,03	22,9
4	Воронежская обл.	3,57	2,72	-0,85	-23,8
5	Ивановская обл.	4,33	4,57	0,24	5,54
6	Тверская обл.	16,8	18,4	1,6	9,52
7	Калужская обл.	5,19	5,78	0,59	11,4
8	Костромская обл.	15,1	19,8	4,7	31,1
9	Курская обл.	3,53	3,24	-0,29	-8,22
10	Липецкая обл.	2,81	2,58	-0,23	-8,19
11	Московская обл.	7,31	11	3,69	50,5
12	Орловская обл.	3,45	3,44	-0,01	-0,29
13	Рязанская обл.	5,6	5,01	-0,59	-10,5
14	Смоленская обл.	9,91	11,0	1,05	10,6
15	Тамбовская обл.	3,64	3,72	0,08	2,20
16	Тульская обл.	3,72	4,12	0,4	10,8
17	Ярославская обл.	7,64	5,87	-1,77	-23,2
Северо-Западный федеральный округ		544	584	40	7,35
1	Архангельская обл.	200	203	2,5	1,25
2	Ненецкий АО	59,4	51,9	-7,5	-12,6
3	Вологодская обл.	38,3	40,9	2,56	6,68
4	Калининградская обл.	2,71	2,58	-0,13	-4,80
5	Ленинградская обл.	23,2	22,9	-0,3	-1,29
6	Мурманская обл.	53,3	61,9	8,6	16,1
7	Новгородская обл.	13,4	17,2	3,8	28,4
8	Псковская обл.	11	13,5	2,5	22,7
9	Республика Карелия	53,3	47,3	-6	-11,3
10	Республика Коми	150	175	24,7	16,5
Южный федеральный округ		49,8	55,2	5,4	10,8
1	Краснодарский край	17	18,8	1,8	10,6
2	Республика Адыгея	2,22	3,34	1,12	50,5
3	Ставропольский край	0,79	0,92	0,13	16,5
4	Карачаево-Черкесская Республика	6,09	6,71	0,62	10,2
5	Астраханская обл.	0	0	0	0
6	Волгоградская обл.	4,9	5,03	0,13	2,65
7	Ростовская обл.	2,68	3,97	1,29	48,1
8	Республика Дагестан	7,34	8,58	1,24	16,9

Продолжение табл. 10.5

№ п/п. по фед. округам	Республика, область, край, федеральный округ	Водные ресурсы за период (гг.)		Изменение местных водных ресурсов	
		1936–1984	1985–2005	км ³ /год	%
9	Кабардино-Балкарская Республика	3,63	2,51	-1,12	-30,9
10	Республика Калмыкия	0,85	1,77	0,92	108
11	Республика Северная Осетия — Алания	3,63	4,03	0,4	11,0
12	Чеченская Республика	2	2,33	0,33	16,5
13	Республика Ингушетия	0,87	0,54	-0,33	-37,9
Приволжский федеральный округ		161	197	36,3	22,6
1	Нижегородская обл.	11,7	13,6	1,9	16,2
2	Кировская обл.	26,8	33,5	6,72	25,1
3	Самарская обл.	4,2	5,63	1,43	34,1
4	Оренбургская обл.	7,3	8,08	0,78	10,7
5	Пензенская обл.	4,99	5,8	0,81	16,2
6	Пермская обл.	47,6	54,8	7,2	15,3
7	Саратовская обл.	5,3	6,34	1,04	19,6
8	Ульяновская обл.	3,2	6,1	2,9	90,6
9	Республика Башкортостан	24,2	31,1	6,86	28,4
10	Республика Марий Эл	3,84	4,19	0,35	9,11
11	Республика Мордовия	3,13	3,59	0,46	14,7
12	Республика Татарстан	8,03	9,82	1,79	22,3
13	Удмуртская Республика	8,03	10,9	2,84	35,4
14	Чувашская Республика	2,3	3,94	1,64	71,3
Уральский федеральный округ		379	415	35,8	9,50
1	Курганская обл.	0,97	1,46	0,49	50,5
2	Свердловская обл.	28,2	37,6	9,4	33,3
3	Тюменская обл., в т. ч.	34,3	36,7	2,42	7,06
4	Ханты-Мансийский АО	120	139	18,6	15,5
5	Ямало-Ненецкий АО	198	212	14,3	7,22
6	Челябинская обл.	6,39	8,59	2,2	34,4
Сибирский федеральный округ		1263	1305	42	3,33
1	Республика Алтай	34,2	33,3	-0,95	-2,78
2	Республика Бурятия	75,4	79,2	3,77	5,00
3	Республика Тува	37,8	45,2	7,39	19,6
4	Республика Хакасия	19,1	20,3	1,21	6,34
5	Алтайский край	19,1	19,8	0,69	3,61
6	Красноярский край, в т. ч.	738	779	41,3	5,60
7	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	291	316	25,48	8,76
8	Эвенкийский АО	217	252	35,4	16,3
9	Иркутская обл., в т. ч.	174	176	2,25	1,29
10	Усть-Ордынский Бурятский АО	1,12	1,16	0,04	3,57
11	Кемеровская обл.	40,6	39,6	-1	-2,46

Окончание табл. 10.5

№ п/п. по фед. округам	Республика, область, край, федеральный округ	Водные ресурсы за период (гг.)		Изменение местных водных ресурсов	
		1936– 1984	1985– 2005	км ³ /год	%
12	Новосибирская обл.	9,47	4,02	-5,45	-57,6
13	Омская обл.	5,51	4,04	-1,47	-26,7
14	Томская обл.	61,4	54,4	-7,05	-11,5
15	Читинская обл., в т. ч.	67,8	70,3	2,49	3,67
16	Агинский Бурятский АО	0,79	1,35	0,56	70,9
Дальневосточный федеральный округ		1539	1578	39	2,53
1	Республика Саха (Якутия)	551	603	52	9,44
2	Приморский край	37,0	42,13	5,13	13,9
3	Хабаровский край	257	253	-4,3	-1,67
4	Амурская обл.	88,6	73,2	-15,4	-17,4
5	Камчатская обл.	233	253	19,9	8,54
6	Магаданская обл.	134	117	-17	-12,8
7	Сахалинская обл.	57,1	57,1	0,04	0,07
8	Еврейская АО	7,00	6,64	-0,36	-5,14
9	Чукотский АО	181	180	-1,3	-0,72

(Республика Калмыкия — 34,8 раз), Приволжский федеральный округ (Чувашская Республика — 64,5 раза), Уральский федеральный округ (Курганская область — 60 раз), Сибирский федеральный округ (Агинский Бурятский автономный округ — 30 раз), Дальневосточный федеральный округ (Амурская область — 9,6 раз).

Таким образом, в маловодные годы водообеспеченность территории и населения субъектов Российской Федерации сильно уменьшается, что, естественно, сказывается на производстве различных видов продукции, на экологии и благосостоянии жителей указанных территорий.

10.5. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ, НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

10.5.1. Основные факторы и методы оценки

Как было отмечено выше (разд. 9.2), использование воды на различные хозяйственные нужды является главным антропогенным фактором, воз-

действующим на водные ресурсы больших речных систем и регионов. Поэтому для того, чтобы оценить состояние водных ресурсов любого региона, прежде всего необходимо иметь данные о водопотреблении в этом регионе и его динамике за многолетний период.

В свою очередь объем и структура водопотребления в регионе определяются уровнем его социально-экономического развития, численностью населения и физико-географическими условиями. Последние включают:

- возобновляемые водные ресурсы, их режим во времени и распределение по территории, степень регулирования, качество воды с точки зрения возможности ее использования;

- наличие земель, пригодных для сельского хозяйства, и природных ресурсов для развития экономики и выработки энергии;

- климатические характеристики (температура, осадки), определяющие условия развития сельского хозяйства, необходимость орошения в том или ином регионе, виды сельскохозяйственных культур и т. д.; климатические условия являются немаловажным фактором и при оценке безвозвратных потерь воды в промышленности и коммунальном секторе экономики.

В сельском хозяйстве безвозвратные потери воды представляют собой испарение с орошаемых земель, в промышленности — испарение при охлаждении воды в технологическом цикле, а также при сбросах использованной, а в случае теплоэнергетики — подогретой воды в водные объекты. В коммунальном хозяйстве потери воды связаны, главным образом, с испарением при утечках из водопроводной и канализационной систем, при поливах зеленых насаждений, улиц и т. д. Значительные безвозвратные потери формирует дополнительное испарение с водохранилищ, величина которых в отдельных районах играет существенную роль в общем объеме безвозвратного водопотребления.

Таким образом, очевидно, что влияние климатического фактора на водопотребление имеет зональный характер и для территории нашей страны увеличивается с севера на юг и с запада на восток по мере засушливости климата и уменьшения водных ресурсов. В зоне избыточного и достаточного увлажнения этот фактор практически не сказывается на объеме водопотребления.

Динамика численности населения является другим фактором, определяющим водопотребление.

Причем важна динамика численности жителей, проживающих в городах и в сельской местности, что определяет соотношение между коммунальным и сельскохозяйственным водопотреблением, между величинами полного и безвозвратного водопотребления. Численность населения не только напрямую определяет объемы воды на коммунальное водоснабжение, но и стимулирует развитие сельского хозяйства, в том числе орошения, промышленности, транспорта, торговли.

Уровень социально-экономического развития, наряду с численностью населения, также определяет величины суммарного водопотребления в любом регионе. Это объясняется тем, что он обуславливает:

- объемы промышленного производства и используемые технологии, от чего зависят величины промышленного водопотребления;

- возможности развития орошаемых земель и использование водосберегающих технологий в орошении;

- наличие современных систем водоснабжения и канализации в коммунальном хозяйстве, от чего напрямую зависят характеристики коммунального водопотребления;

- высокий жизненный уровень населения, определяющий высокую удельную норму потребления воды (в л/сут на человека);

- возможности проведения комплекса мероприятий по очистке сточных вод и охране окружающей среды.

В качестве индикатора социально-экономического развития может служить величина валового внутреннего продукта (ВВП), если речь идет в целом о России, и валового регионального продукта (ВРП), если рассматривать отдельные субъекты РФ. О соотношениях ВВП и водопотребления можно судить по данным, представленным на рис. 10.9 (Думнов, 2003). Как видно из графика, в целом для России зависимости между объемами ВВП, промышленностью и сельскохозяйственным производством имеют весьма сложный характер: за период 1990–1999 гг. эти показатели имели одинаковую тенденцию уменьшения, обусловленную экономическим состоянием России; после 1999 г. объем ВВП увеличивается, в то время как водопотребление практически стабилизировалось, а в сельском хозяйстве продолжало сокращаться. Такая тенденция в значительной степени сохраняется и до настоящего времени.

Это обусловлено разными причинами, тем не менее, очевидно, что в последние годы в России существенно сокращается количество пресной воды на единицу производимой продукции, как в промышленности, так и в сельском хозяйстве.

Характеристики водопотребления по субъектам РФ и федеральным округам в настоящее время

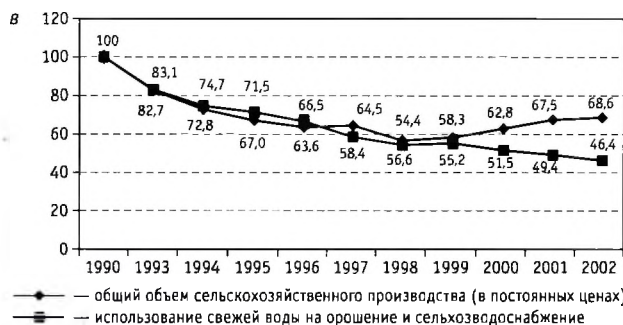
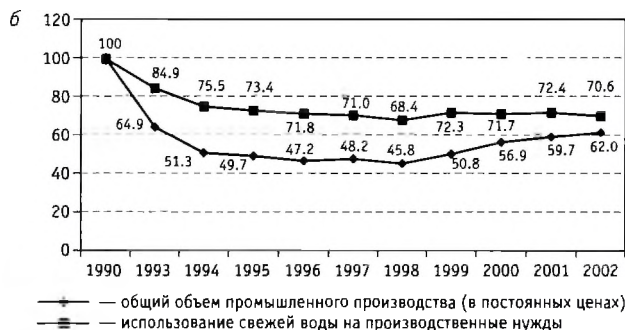


Рис. 10.9. Динамика использования воды и социально-экономических показателей в РФ за период 1990–2002 гг. (% к 1990 г.)

вполне доступны и официально публикуются в изданиях Росстата, причем достаточно подробно — по годам, начиная с 1993 г.; эти данные широко использованы в настоящем исследовании. Менее детальные данные имеются с 1980 г., когда они стали публиковаться в изданиях Государственного водного кадастра. За более ранние годы оценки водопотребления не имеют систематического характера, их можно найти лишь в отдельных публикациях, и они весьма неполные и порой разноречивые. Следует отметить, что существующая в России система учета использования воды весьма несовершенна и даже официально публикуемые данные очень приближены, особенно это касается объемов сбросов и безвозвратного водопотребления (см. выше, разд. 9.2.1). Тем не менее, поскольку других данных нет, мы используем их в наших обобщениях.

Располагая данными о водопотреблении, можно характеризовать состояние водных ресурсов, которое определяется путем сопоставления имеющихся в данном регионе водных ресурсов с объемами используемой воды, а также численностью населения.

С этой целью обычно применяют два критерия. Первый — это нагрузка на водные ресурсы и второй — водообеспеченность населения. Нагрузка на водные ресурсы характеризуется коэффициентом использования водных ресурсов $K_{исп}$, равным отношению в процентах величины полного водопотребления к возобновляемым водным ресурсам. При этом возобновляемые водные ресурсы представляют собой сумму местных водных ресурсов, формирующихся в пределах рассматриваемого региона, и притока речных вод с соседних территорий.

Современные данные по оценке водных ресурсов России представлены выше, в разд. 10.3 и 10.4; они получены путем обобщения материалов многолетних наблюдений гидрометеорологической сети Росгидромета, что позволило получить надежную информацию по их среднемноголетним характеристикам и динамике во времени для всех субъектов и федеральным округам РФ по годам за период 1930–2005 гг. Несмотря на то что суммарные среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы России достаточно велики и оцениваются в $4324 \text{ км}^3/\text{год}$ (по этому показателю наша страна занимает второе место в мире после Бразилии), имеется целый ряд субъектов РФ, которые располагают весьма ограниченными водными ресурсами.

К ним, например, можно отнести Республику Мордовию, Белгородскую, Брянскую, Воронежскую, Калужскую, Курганскую, Курскую, Липецкую, Московскую, Новгородскую, Оренбургскую, Орловскую, Пензенскую, Псковскую, Смоленскую, Тамбовскую, Тульскую, Челябинскую области и почти все субъекты Южного ФО.

Следует отметить, что в условиях больших колебаний возобновляемых водных ресурсов от года к году оценка нагрузки на водные ресурсы по величине их среднемноголетних значений дает заниженные показатели. Вместе с тем использование для этой цели минимальных годовых значений речного стока приведет к явно завышенным результатам, поскольку во многих регионах имеются возможности использования части стока предшествующих лет за счет его искусственного или естественного регулирования.

В связи с изложенным, представляется более обоснованным для оценки реальной нагрузки на водные ресурсы принимать минимальную за период наблюдений среднюю годовую величину водных ресурсов за три следующих друг за другом маловодных года. Такая оценка выполнена нами для каждого субъекта РФ. Данные за маловодные периоды, естественно, значительно меньше среднемноголетних величин, особенно при большой изменчивости многолетних колебаний водных ресурсов. Указанные величины, которые условно названы нами как реальные водные ресурсы (РВР), вместе со среднемноголетними величинами использованы для оценки нагрузки на водные ресурсы для всех субъектов РФ.

Исходя из опыта исследований в различных физико-географических и социально-экономических условиях (Шикломанов, 2004; Shiklomanov, Balonishnikova, 2003) и согласно (UNWMO SEI, 1997), для обширной территории России с ее крайне неравномерным распределением водных ресурсов для анализа их состояния в любом регионе может быть применена следующая классификация по коэффициенту использования $K_{исп}$ или нагрузки на водные ресурсы.

1-я категория: $K_{исп} < 10\%$ — низкая нагрузка на водные ресурсы: как правило, регионы не испытывают серьезных проблем с водообеспечением (за исключением проблем загрязнения).

2-я категория: $K_{исп} = 10\text{--}20\%$ — умеренная нагрузка на водные ресурсы. Уровень водообеспечения становится фактором, ограничивающим развитие региона.

3-я категория: $K_{исп} = 20-40\%$ — высокая нагрузка на водные ресурсы. Для устойчивого развития необходимо регулировать предложение и спрос на воду.

4-я категория: $K_{исп} = 40-60\%$ — очень высокая нагрузка на водные ресурсы. Имеет место серьезный дефицит воды и настоятельная необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечения дополнительных источников водообеспечения. Дефицит водных ресурсов становится фактором, сдерживающим экономический рост и повышение уровня благосостояния населения.

5-я категория: $K_{исп} > 60\%$ — критически высокая нагрузка. Дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и жизнедеятельности.

Приведенная простейшая квалификация широко используется для оценки состояния водных ресурсов в различных регионах и странах мира, однако она не может в полной мере характеризовать дефицит водных ресурсов в том или ином регионе, поскольку не учитывает численность проживающего на его территории населения. Для учета этого фактора состояние водных ресурсов в регионе оценивается по величинам водообеспеченности, под которой понимается количество воды, приходящейся на одного жителя. При этом следует различать два вида водообеспеченности — потенциальную (ПВ) и реальную (РВ). Потенциальная водообеспеченность — это отношение среднесуточных возобновляемых водных ресурсов к численности населения. По величине потенциальной водообеспеченности можно судить в целом о состоянии водных ресурсов в стране в естественных условиях их формирования, давать сравнительную характеристику отдельных субъектов и регионов и анализировать динамику водообеспеченности за определенный период времени.

Однако использование в оценках величин потенциальной водообеспеченности, особенно в регионах, имеющих ограниченные водные ресурсы, приводит к искажению объективной ситуации с водными ресурсами, так как потенциальная природная водообеспеченность всегда завышена по сравнению с реальными условиями. Это связано с тем, что не учитывается часть воды, которая безвозвратно теряется при ее использовании. Кроме того, в отдельные годы и периоды водные ресурсы намного меньше среднесуточных значений. Чтобы учесть эти обстоятельства для всех субъектов,

которые в маловодные годы могут оказаться в условиях дефицита воды, вместе с оценкой нагрузки на водные ресурсы анализировалась реальная водообеспеченность, определяемая следующим соотношением:

$$РВ = \frac{РВР - БВ}{n}, \text{ тыс. м}^3 \text{ в год на одного жителя, (10.2)}$$

где РВР — реальные водные ресурсы, км³/год, БВ — безвозвратное водопотребление, км³/год, n — численность населения, млн.

Таким образом, величина РВ означает остаточное (после использования) количество воды, которое приходится на одного человека в маловодные годы.

При этом, исходя из опыта оценок по регионам мира (Shiklomanov, 2000), для анализа состояния водных ресурсов по данным об удельной водообеспеченности (в тыс. м³ на одного человека в год), может быть применена следующая классификация:

< 1.0 — катастрофически низкая водообеспеченность;

1.01–2.0 — очень низкая водообеспеченность;

2.01–5.0 — низкая водообеспеченность;

5.01–10 — средняя водообеспеченность;

10.01–20 — высокая водообеспеченность;

> 20 — очень высокая водообеспеченность.

Приведенные выше классификации по коэффициенту использования водных ресурсов и удельной водообеспеченности, по нашему мнению, могут позволить выявить регионы с различным уровнем использования водных ресурсов и водообеспечения, что даст возможность принять необходимые и своевременные меры по регулированию или сокращению водопотребления для устранения дефицита водных ресурсов.

Для этой цели с использованием изложенного выше методического подхода и предлагаемых классификаций по данным о водных ресурсах, водопотреблении и численности населения для всех субъектов РФ и федеральных округов нами выполнены оценки на уровень 2005 г. нагрузки на водные ресурсы и водообеспеченности относительно среднесуточных и средних за маловодный период значений водных ресурсов местного формирования и суммарных водных ресурсов, т. е. с учетом притока с прилегающих территорий. Анализ результатов этих оценок применительно ко всем субъектам РФ приводится ниже.

10.5.2. Характеристика социально-экономического развития, водопотребления и водообеспеченности федеральных округов

Принимая во внимание, что уровень экономического развития регионов является одним из основных факторов, определяющих объемы водопотребления, целесообразно рассмотреть социально-экономическое состояние каждого федерального округа, их отраслевую структуру и приоритеты в экономическом развитии, а также современное водопотребление и водообеспеченность. Основные показатели социально-экономического развития и водопотребления приведены в табл. 10.6.

Центральный федеральный округ (ЦФО) занимает территорию площадью 650,7 тыс. км², или 3,8% от площади РФ с численностью населения (на 2005 г.) — 37,5 млн человек, из них городского — 80%. Экономика округа специализирована. Юг округа (Центрально-Черноземный район) специализируется на горнорудной, металлургической, пищевой промышленности, имеются отдельные отрасли машиностроения и химии, широко представлено интенсивное сельскохозяйственное производство. На севере и в центре преобладают высокоразвитое многоотраслевое машиностроение и металлообрабатывающее производство, химическая промышленность, разнообразные отрасли ВПК, отдельные отрасли легкой промышленности, крупнейшие предприятия полиграфической продукции.

Как следует из таблицы, ЦФО лидирует среди федеральных округов по всем основным показателям социально-экономического развития. Главное природное богатство округа — железные руды Курской магнитной аномалии. По геологическим запасам Курская магнитная аномалия занимает первое место в мире. Из других минеральных ресурсов здесь имеются крупные запасы мела, известняка, огнеупорных и кирпичных глин, а также строительных, стекольных и формовочных песков. Прогнозируется открытие нефтяных месторождений в Ивановской, Костромской и Ярославской областях.

В экономике ЦФО ведущую роль играет промышленность. Среди других отраслей народного хозяйства выделяется сельское хозяйство (на юге округа), строительство и торговля. Топливо-энергетический комплекс округа включает в себя самую мощную в стране электроэнергетику, развитую неф-

теперерабатывающую промышленность. По объемам переработки нефти округ занимает второе место среди федеральных округов.

Таблица 10.6

Динамика основных социально-экономических показателей и водопотребления за период 1995–2005 гг. по федеральным округам России

Показатели	1995	2000	2005
Центральный федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	38,1	38,2	37,5
сельского	29,9	30,3	30,2
	8,2	7,9	7,4
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	1841	6157,3
На душу населения (тыс. руб.)	—	48,2	164,4
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	820	2090
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	233,4 (2002 г.)	326,5
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	33 170	31 630	33 439
осушаемых земель	643	525	503
	1524	1446	1453
Водозабор (км ³ /год), использование воды	12,9	11,6	10,6
— промышленное	6,71	6,57	5,96
— сельскохозяйственное	0,92	0,42	0,21
— коммунальное,	4,48	4,04	3,93
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	410	365	357
Северо-Западный федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	14,9	14,3	13,7
сельского	12,2	11,8	11,3
	2,7	2,6	2,4
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	578,5	1879,2
На душу населения (тыс. руб.)	—	40,6	133,0
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	482	1200
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	64,8	87,9
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	6418	5581	6839
осушаемых земель	40,2	23,0	18,8
	2037	1820	1815
Водозабор (км ³ /год), использование воды	11,78	11,3	11,4
— промышленное	9,62	9,55	9,78
— сельскохозяйственное	0,15	0,052	0,024
— коммунальное,	1,66	1,52	1,30
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	373	353	315
Южный федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	223	22,7	22,8
сельского	12,9	13,1	13,0
	9,4	9,6	9,8

Продолжение табл. 10.6

Показатели	1995	2000	2005
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	434,9	1298,8
На душу населения (тыс. руб.)	—	20,0	57,0
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	243	573
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	200,1	323,4
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	41 725 2416	38 780 2180	43 905 2236
осушаемых земель	68,5	68,1	69,5
Водозабор (км ³ /год), использование воды	21,5	17,1	14,8
— промышленное	5,60	4,81	4,02
— сельскохозяйственное	10,1	8,68	7,50
— коммунальное,	1,71	1,73	1,41
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	363	362	297
Приволжский федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	32,1 22,8	31,7 22,4	30,7 21,6
сельского	9,32	9,33	9,14
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	1036,8	2877,9
На душу населения (тыс. руб.)	—	32,8	92,1
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	995	2220
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	268,2	381,3
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	54 122 1079	52 817 919	54 860 931
осушаемых земель	438	413	412
Водозабор (км ³ /год), использование воды	12,8	10,5	10,0
— промышленное	7,39	6,72	6,84
— сельскохозяйственное	2,05	0,64	0,32
— коммунальное,	2,63	2,66	2,40
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	316	325	304
Уральский федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	12,6 10,1	12,5 10,1	12,3 9,7
сельского	2,50	2,45	2,53
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	866,1	3106,4
На душу населения (тыс. руб.)	—	69,33	253,3
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	798	2065
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	66,6	106,1
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	15 268 176	14 125 155	16 425 155
осушаемых земель	157	143	151
Водозабор (км ³ /год), использование воды	4,36	4,06	3,87
— промышленное	2,11	2,18	2,13
— сельскохозяйственное	0,20	0,071	0,045
— коммунальное,	1,26	1,38	1,22
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	342	374	345

Окончание табл. 10.6

Показатели	1995	2000	2005
Сибирский федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	21,0 14,8	20,5 14,5	19,8 14,0
сельского	6,2	6,0	5,8
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	687,1	1970,8
На душу населения (тыс. руб.)	—	33,7	99,9
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	547	1203
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	158,7	217,2
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	52 804 616	49 459 552	54 963 531
осушаемых земель	247	229	228
Водозабор (км ³ /год), использование воды	9,90	10,3	8,92
— промышленное	6,71	7,60	6,67
— сельскохозяйственное	0,99	0,58	0,32
— коммунальное,	1,81	1,72	1,50
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	335	325	294
Дальневосточный федеральный округ			
Численность населения (млн чел.), в т. ч. городского	7,5 5,78	6,9 5,2	6,6 4,9
сельского	1,8	1,7	1,7
ВРП (млрд руб. в текущих основных ценах)	—	308,8	829,7
На душу населения (тыс. руб.)	—	44,9	126,3
Объем промышленного производства (млрд руб.)	—	23,4	410,5
Объем с/х производства (млрд руб.)	—	36,3	53,2
Площадь с/х угодий (тыс. га), в т. ч. орошаемых земель	6127 138	4623 111	7974 122
осушаемых земель	685	515	650
Водозабор (км ³ /год), использование воды	2,60	2,01	1,75
— промышленное	1,60	1,33	1,15
— сельскохозяйственное	0,24	0,12	0,061
— коммунальное,	0,69	0,54	0,54
в т. ч. на одного городского жителя (л/сутки)	332	285	302

Важнейшими предпосылками развития хозяйства округа является выгодное экономико-географическое положение, созданный производственный и научно-технический потенциал и развитая инфраструктура.

Преобладающая часть территории относится к бассейнам рек Волги и Дона. Водные ресурсы ЦФО невелики. Среднеголетние местные водные ресурсы оцениваются в 108 км³/год, а приток в 22,3 км³/год.

На территории округа имеются водохранилища с полным объемом 34,8 км³, полезным объемом 23,0 км³ и площадью водного зеркала 2430 км².

Площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий в округе составляет 503 тыс. га, из которых большая часть (70%) не поливается, а осушаемых — 1450 тыс. га.

В настоящее время на хозяйственные нужды в Центральном ФО используется 10,6 км³/год воды, из которых на производственно-коммунальные нужды расходуется 94% общего водопотребления.

Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) расположен на территории площадью 1678 тыс. км², или 9,8% от площади РФ с численностью населения (на 2005 г.) 13,7 млн человек, из которых городского — 82%.

Природные ресурсы, сосредоточенные в Северо-Западном округе, являются стратегически важными не только для России, но и в международном масштабе. Здесь расположено 16% разведанных запасов нефти, 20% разведанных запасов газа страны, 60% лесных богатств европейской части России, более 90% мировых запасов янтаря, запасы апатитов и сланцев, крупнейший в Европе Печорский угольный бассейн.

Сельское хозяйство Северо-Запада производит свыше 7% всей сельскохозяйственной продукции России, при этом на долю округа приходится только 2,7% сельскохозяйственных угодий и 2,5% пашни, площадь орошаемых в настоящее время земель — 18,8 тыс. га, осушаемых — 1815 тыс. га.

Экономика Северо-Запада специализируется на высококвалифицированном, сложном и точном машиностроении и приборостроении, металлообработке, судостроении, цветной и черной металлургии, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, химической, нефте-газо- и топливобывающей промышленности, электроэнергетике. Удельный вес суммарного валового регионального продукта Северо-Запада в ВВП России достигает 11%.

Транспортно-географическое положение большинства субъектов РФ, входящих в Северо-Западный федеральный округ, весьма благоприятное. На их территории находится большое число судоходных рек и озер. Связанные каналами, они образуют единую водную транспортную систему, соединяющую северные моря России с ее южными морями. Здесь расположены крупнейшие российские морские порты: Санкт-Петербургский, Мурманский, Калининградский, Архангельский. Доля портов Северо-Запада в общем объеме грузооборота российских морских портов превышает 50%.

СЗФО является самым обеспеченным водой на европейской территории РФ. Местные водные ресурсы составляют 554 км³/год, а приток 65,0 км³/год.

На территории округа расположено значительное количество небольших водохранилищ с суммарным полным объемом 71,1 км³, полезным — 32,1 км³ и площадью водного зеркала 13290 км², с учетом озер, преобразованных в водохранилища. Сток, в основном, естественно зарегулирован многочисленными озерами.

Современное водопотребление СЗФО оценивается в 11,4 км³/год, в том числе на производственные нужды приходится 9,8 км³/год, из которых примерно 4,8 км³/год составляет забор морской воды Ленинградской АС, на коммунальные нужды — 1,3 км³/год, использование воды сельским хозяйством ничтожно мало — 0,25%.

Южный федеральный округ (ЮФО) расположен на территории площадью 589,2 тыс. км², или 3,5% от площади РФ с численностью населения (на 2005 г.) 22,8 млн человек, в том числе городского — 57%. Геополитическое место Южного федерального округа в России уникально. Округ связывает в единую систему морские и сухопутные границы России с новыми независимыми азиатскими и европейскими государствами.

Природные ресурсы округа — это запасы нефти, газа, перспективные для разработки титановые, вольфрамовые, циркониевые и ртутные месторождения. Основу угольно-сырьевой базы округа составляет российская часть Донецкого угольного бассейна.

Округ обладает крупным рыбохозяйственным комплексом, благоприятными природно-климатическими условиями для растениеводства и животноводства. В Южном федеральном округе к категории сельхозугодий относится 74,3% земельного фонда. Здесь находится 49,7% всех орошаемых земель страны.

Экономическое развитие ЮФО обусловлено высокой долей аграрного сектора в отраслевой специализации его экономики.

По имеющимся суммарным водным ресурсам ЮФО является регионом с недостаточными водными ресурсами, а по величине местного стока — регионом с дефицитом водных ресурсов. Полный объем имеющихся здесь водохранилищ — 69,5 км³, полезный — 27,5 км³ с площадью водного зеркала — 9240 км².

Местные водные ресурсы ЮФО оцениваются в 53,3 км³/год, приток в 270 км³/год. Из всего объема

используемой воды (14,8 км³/год) больше половины (51%) приходится на сельское хозяйство.

Приволжский федеральный округ (ПФО) имеет площадь 1 038 тыс. км² с населением (на 2005 г.) 30,7 млн человек, из которых городское составляет 71%.

Срединное положение между Западной и Восточной зонами страны обеспечивает округу тесные связи с сырьевыми районами и районами реализации конечной продукции. Через территорию округа проходят важнейшие транспортные пути России: р. Волга, железнодорожные магистрали, соединяющие Западную и Восточную экономические зоны, северные и южные регионы страны, а также нефтегазотрубопроводы, идущие из Сибири.

Округ богат минерально-сырьевыми ресурсами, месторождениями химического сырья (серы калийно-магниевых солей), железных руд, медных руд с богатым содержанием серы, никель-кобальтовых и марганцевых руд, а также месторождениями магнетитов, асбеста, хромитов, поваренной соли, разнообразных строительных материалов. Округ является одним из старейших нефтедобывающих регионов страны и имеет значительные запасы природного газа.

Ведущее место в хозяйственном комплексе округа принадлежит промышленности, где ключевое значение имеют отрасли машиностроения и металлообработки, а также топливная, химическая и нефтехимическая промышленность. По общему объему промышленного и сельскохозяйственного производства округ занимает первое место в стране. На долю округа приходится 20% орошаемых и 8,6% осушаемых земель России. При этом из имеющихся 931 тыс. га орошаемых земель не поливается 50%.

ПФО, имея достаточно высокий уровень экономического развития, обладает сравнительно небольшими водными ресурсами. Округ целиком находится в бассейне р. Волга и ее притоков. Местные водные ресурсы оцениваются в 173 км³/год, приток в 113 км³/год.

Полный объем всех построенных на территории ПФО водохранилищ составляет 113,8 км³, полезный — 59,6 км³, с площадью водного зеркала 15 725 км².

На хозяйственные нужды в округе используется 10,0 км³/год, из них на производственно-коммунальные нужды в настоящее время расходуется 92% общего водопотребления.

Уральский федеральный округ (УФО) расположен на территории площадью 1 789 тыс. км², или 10,5%

от всей площади РФ с численностью населения (на 2005 г.) 12,3 млн человек, в том числе городского — 81%.

Своеобразие района и его специализация определяются географическим положением, природными ресурсами, экономикой и народонаселением.

Урал занимает центральное положение в стране. Он входит в состав Западной экономической зоны России, граничит с районами Восточной зоны, что позволяет использовать минерально-сырьевые и топливно-энергетические ресурсы Сибири, а также рынки сбыта готовой продукции, как в западных, так и в восточных районах страны.

Уральский федеральный округ выделяется наиболее развитой в России нефте-, газо- и горнодобывающей промышленностью. Здесь же сосредоточено около 27% марганцевых руд, крупные запасы серебра, золота, железных руд.

Отраслями специализации являются черная и цветная металлургия, машиностроение, химическая и нефтехимическая, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. Важное значение имеет также производство строительных материалов (цемент, строительный кирпич и др.).

Урал производит от 20 до 40% общероссийского выпуска металлорежущих станков, экскаваторов, нефтеаппаратуры, химического оборудования и машин для сельского хозяйства. Здесь развиты тяжелое машиностроение (производство горно-металлургического оборудования, химического и нефтехимического оборудования), энергетическое (производство турбин, паровых котлов и др.), транспортное, сельскохозяйственное машиностроение, тракторостроение. Быстро развивается электротехническое машиностроение, приборостроение, станкостроение. Общий объем промышленного производства УФО сопоставим с Центральным и Приволжским федеральными округами, в 2005 г. — здесь самый высокий в стране объем ВРП на душу населения, который в полтора раза превышает соответствующие показатели ЦФО.

В целом УФО имеет достаточные водные ресурсы. Местный сток оценивается в 385 км³/год, а приток — в 217 км³/год. Полный объем водохранилищ составляет — 4,7 км³, полезный 3,2 км³, площадь водного зеркала — 1185 км².

Однако в округе имеют место проблемы с водообеспечением. Это связано с тем, что основные запасы водных ресурсов находятся на западе Урала, что не совпадает с регионами наибольшей концентрации промышленности. Особенно это касается

юга Урала, где сосредоточено основное производство на фоне дефицита водных ресурсов.

Современный объем водопотребления в округе составляет 3,87 км³/год. Из них на нужды сельского хозяйства расходуется всего около 1% воды.

Сибирский федеральный округ (СФО) имеет огромную территорию с площадью 5 115 тыс. км², или 30,1% от площади РФ с населением (на 2005 г.) 19,8 млн человек, в том числе 71% городских жителей. В состав Сибирского федерального округа входят практически все регионы Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского экономических районов за исключением Тюменской области.

Округ исключительно богат залежами металлических руд, здесь находится 85% общероссийских запасов свинца и платины, 80% — молибдена, 71% — никеля, 69% — меди, 67% — цинка, 66% — марганца, 44% — серебра, около 40% — золота. Ведущими отраслями округа являются: черная и цветная металлургия, электроэнергетика, лесная и деревообрабатывающая, химическая, нефтехимическая, топливная промышленность, машиностроение и металлообработка.

На территории округа 59% земель занято лесами, 11,1% — сельскохозяйственными угодьями, из которых 531 тыс. га являются орошаемыми и 228 тыс. га осушаемыми землями. Доля округа в общем объеме сельскохозяйственного производства России в 2005 г. составила около 16%. Важнейшими отраслями сельского хозяйства являются животноводство, производство зерна и овощеводство.

СФО располагает огромными запасами водных ресурсов. Возобновляемые местные водные ресурсы оцениваются в 1277 км³/год, а приток в 59,1 км³/год. В водохранилищах Сибирского ФО сосредоточен наибольший объем воды. Полный объем водохранилищ составляет 378 км³, полезный — 121 км³, площадь водного зеркала — 14 480 км².

По суммарным водным ресурсам СФО является вторым после Дальневосточного федерального округа. При этом водопотребление в округе составляет менее 1% от имеющихся водных ресурсов. Из всей используемой воды — 8,9 км³/год — на производственно-коммунальные нужды расходуется 92% общего водопотребления.

Дальневосточный федеральный округ (ДФО) занимает территорию площадью 6216 тыс. км², или 36,4% территории РФ с численностью населения (на 2005 г.) 6,6 млн человек, в том числе городского населения 76%.

Природно-ресурсный потенциал округа исключительно разнообразен. Это в первую очередь биологически-морские, лесные и минерально-сырьевые ресурсы. Очень большое значение для экономики региона имеют моря Тихого океана: Берингово, Охотское, Японское. Они имеют рыбохозяйственное, зверопромысловое и транспортное значение. Здесь сконцентрированы крупнейшие в мире запасы лососевых рыб, трески, наваги, сельди, сайры; обитают тюлени, моржи, котики. Ведущей отраслью специализации региона является рыбная промышленность. По улову рыбы Дальнему Востоку принадлежит первое место среди экономических районов страны.

Лидирующее положение занимает округ по запасам и добыче ряда рудных полезных ископаемых и алмазов. Здесь сосредоточены 80% запасов и почти 100% добычи алмазов; около 40% запасов и более 55% добычи золота; около 23% запасов и 64% добычи вольфрама, а также 63% добычи свинца, 12% добычи угля. Суммарные ресурсы природного газа региона составляют 26,8 трлн м³, из них большая половина — ресурсы шельфа Охотского моря.

Металлургический комплекс промышленности (черная и цветная металлургия) представлен горнорудной промышленностью — добычей олова, ртути, полиметаллических руд, вольфрама, серебра, золота и их переработкой. Отраслями рыночной специализации являются также лесная, целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая промышленность, производство пиломатериалов, древесноволокнистых плит.

Сельское хозяйство развито преимущественно на юге района, где выращивают сою, рис, яровую пшеницу, ячмень, овощи. В регионе расположено не более 2,5% сельскохозяйственных угодий РФ и менее 2% пашни.

ДФО имеет самые большие в России водные ресурсы. Сток, формирующийся в пределах округа, составляет 1566 км³/год, а приток — 295 км³/год.

Полный объем водохранилищ оценивается 118 км³, полезный — 58 км³; площадь водного зеркала — 6050 км².

С другой стороны, ДФО — это регион, где меньше всего используются водные ресурсы. Здесь полное водопотребление не превышает 1,8 км³/год, что составляет примерно 0,1% от местных водных ресурсов.

Доли федеральных округов в общероссийских социально-экономических показателях представлены в табл. 10.7 (Регионы России, 2006).

Таблица 10.7

Доли федеральных округов в общероссийских социально-экономических показателях в 2005 г. (%)

Социально-экономические показатели	ЦФО	СЗФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДФО
Доля населения РФ на 1 января 2005 г.	25,6	10,0	14,4	22,0	8,7	14,3	5,0
Объем промышленной продукции	21,2	12,7	6,2	23,9	16,6	13,6	5,7
Продукция сельского хозяйства	22,5	7,0	16,6	26,9	7,2	16,7	3,1
Инвестиции в основной капитал	28,6	11,2	9,9	17,5	17,2	9,5	6,1
Иностранные инвестиции	36,1	16,1	7,5	4,4	8,7	14,0	13,2

Как видно из таблицы, лидирующее положение в промышленности и сельском хозяйстве принадлежит Центральному и Приволжскому округам. Дальневосточный округ имеет самые низкие экономические показатели.

По показателю ВРП, как следует из табл. 10.6, в числе лидирующих округов являются Центральный, Приволжский и Уральский. Стабильно низкий уровень отмечается в Южном и Дальневосточном федеральных округах. Таким образом, уровень социально-экономического развития регионов весьма различен, но имеет общую тенденцию к увеличению за последние годы, при этом во всех округах объемы водопотребления за последние 10 лет заметно уменьшились.

Для более детальной оценки динамики водопотребления во всех федеральных округах были проанализированы все имеющиеся, по различным источникам, данные по использованию свежей воды за многолетний период 1965–2005 гг., в том числе по соотношению между водозаборами и сбросами были ориентировочно оценены величины безвозвратного водопотребления. Заметим при этом, что величины безвозвратного водопотребления имеют исключительно приближенный характер. Тем не менее динамика полного и безвозвратного водопотребления для всех округов за многолетний период приведена на рис. 10.10.

В соответствии с приведенными данными имеет место четко выраженная тенденция в динамике использования воды, в полной мере отражающая экономическую ситуацию России.

Для всех округов с 1965 по 1980–1985 гг. с разными темпами, но имеет место тенденция увеличения водопотребления, обусловленная рос-

том промышленного производства и увеличением орошаемых площадей. Последующий период — до 1990 г. — характеризуется стабилизацией водопотребления, несмотря на значительный рост экономики, что объясняется мерами по более эффективному использованию воды в промышленности, где получили широкое распространение системы оборотного водоснабжения (Демин, 2000).

Период после 1990–1991 гг. характеризуется интенсивным уменьшением водопотребления во всех федеральных округах, что объясняется социально-экономическим кризисом в стране, резким сокращением промышленного и сельскохозяйственного производства. В последние десятилетия в связи со стабилизацией экономики и начавшимся ростом ВВП и промышленного производства водопотребление во всех регионах практически стабилизировалось.

Для анализа динамики структуры водопотребления по федеральным округам были обобщены имеющиеся за последние годы данные Росводресурсов по использованию воды на различные хозяйственные нужды в каждом субъекте РФ.

Обобщенные данные по полному водопотреблению и по секторам экономики с 1993 по 2005 г. по всем округам приведены на рис. 10.11, а также в табл. 10.8.

Из графика видно, что к настоящему времени водопотребление на нужды сельского хозяйства во всех округах, кроме ЮФО, практически сведено к минимуму и составляет 5% и меньше от общего водопотребления; это и понятно, поскольку в этих округах даже имеющиеся орошаемые площади не поливаются. В ЮФО, где сосредоточены почти все

Таблица 10.8

Динамика использования воды на различные нужды по отношению к полному водопотреблению для федеральных округов (%)

Федеральные округа	1995 год			2000 год			2005 год		
	П	К	С/Х	П	К	С/Х	П	К	С/Х
Центральный	54	37	9	59	36	5	58	39	3
Северо-Западный	83	15	2	86	14	0	87	12	1
Южный	32	14	54	31	14	55	31	14	55
Приволжский	60	23	17	66	27	7	70	26	4
Уральский	54	35	11	58	37	5	59	36	5
Сибирский	70	19	11	75	18	7	77	18	5
Дальневосточный	63	28	9	67	27	6	66	31	3

Примечание. П — промышленное водопотребление; К — коммунальное водопотребление; С/Х — сельскохозяйственное водопотребление

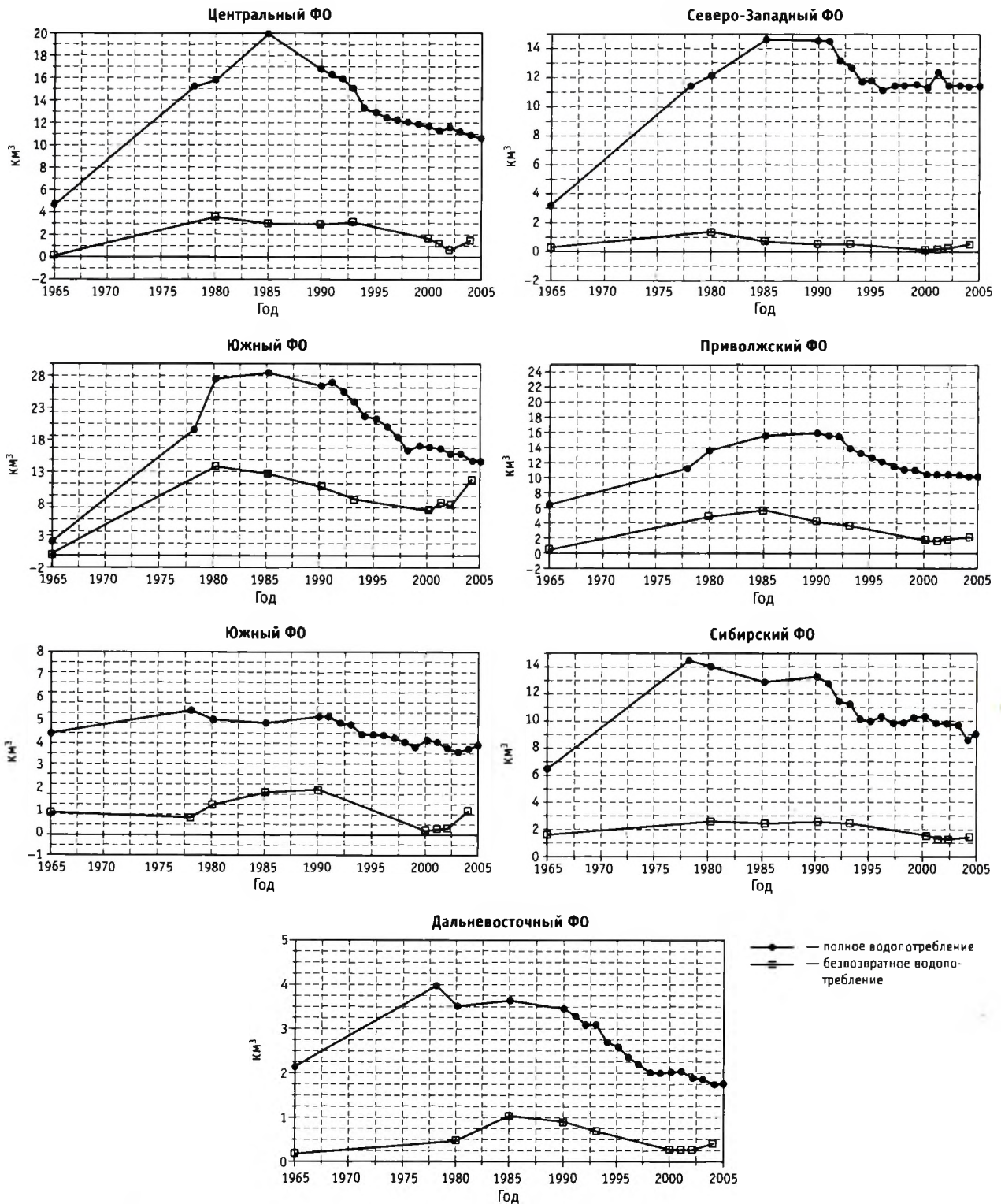


Рис. 10.10. Динамика полного и безвозвратного водопотребления за период 1965–2005 гг.

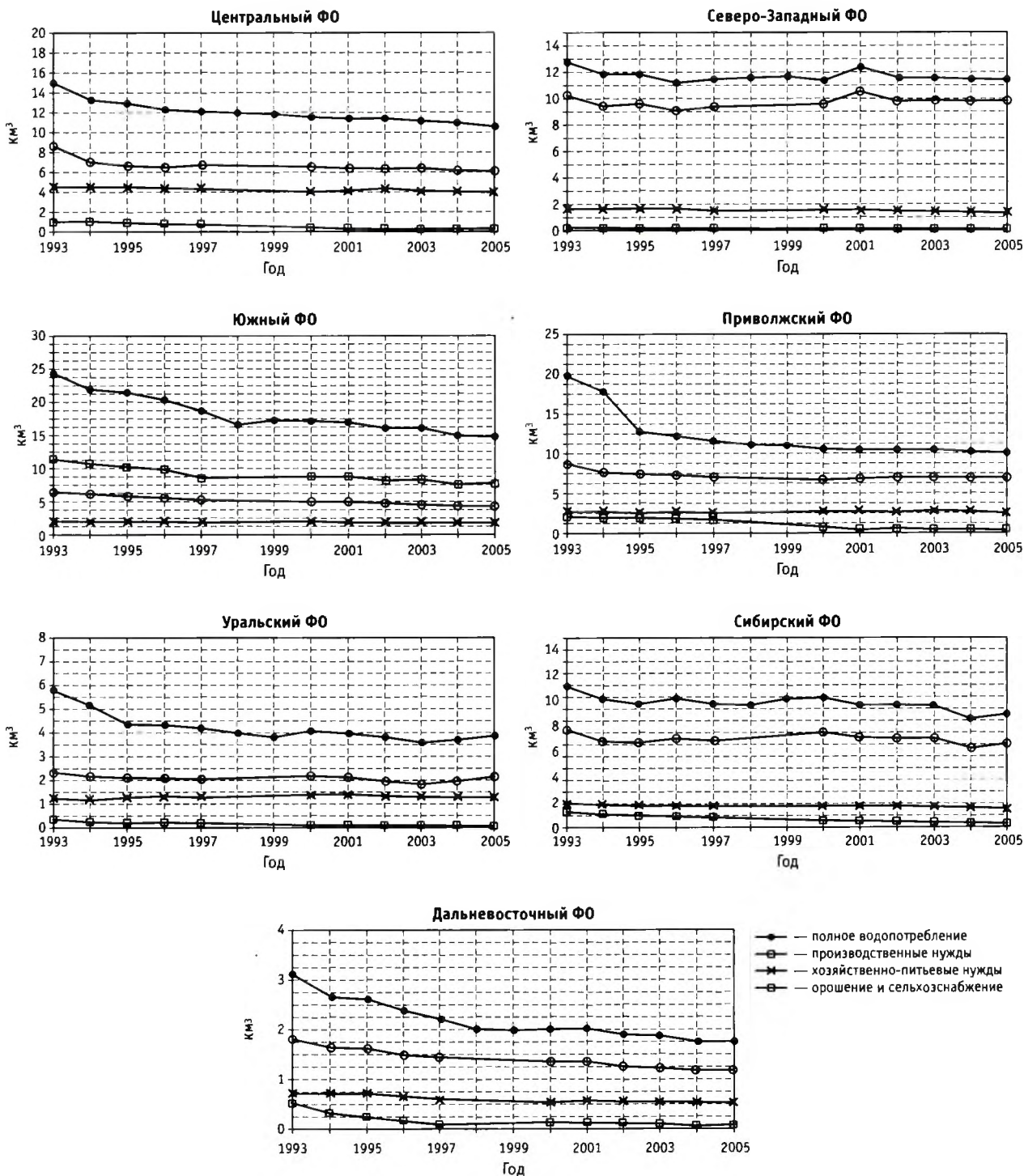


Рис. 10.11. Динамика полного водопотребления и использования воды на различные нужды в современный период

Таблица 10.9

Водные ресурсы и коэффициент их современного использования в федеральных округах (%)

Федеральные округа	Средние водные ресурсы, км ³ /год		Нагрузка в% на	
	местные	общие	местные в. р.	общие в. р.
Центральный	108	131	9,8	8,1
Северо-Западный	554	619	2,1	1,8
Южный	53,3	323	27,8	4,6
Приволжский	173	286	5,8	3,5
Уральский	385	601	1,0	0,64
Сибирский	1277	1336	0,74	0,71
Дальневосточный	1566	1861	0,11	0,09

поливаемые земли России, водопотребление на нужды сельского хозяйства за последние 15 лет практически остается стабильным. Использование воды на коммунальные нужды, выраженные в %, во всех округах практически остается на постоянном уровне (табл. 10.8).

Наибольший интерес представляют данные по промышленному водопотреблению, объемы которого в последние 7–8 лет во всех округах практически остаются стабильными, а доля в общем водопотреблении увеличивается, несмотря на то, что за этот период промышленное производство выросло на 40–50%. В общем это свидетельствует, по-видимому, о более эффективном использовании свежей воды на вновь создаваемых и восстанавливаемых промышленных предприятиях.

Обобщение данных по имеющимся водным ресурсам и водопотреблению за многолетний период естественно указывает на сохранение тенденции в снижении нагрузки на водные ресурсы, начиная с 1980-х гг., что связано с уменьшением водопотребления. Современная нагрузка на водные ресурсы по округам приведена в табл. 10.9.

В соответствии с приведенными данными, все федеральные округа имеют нагрузку относительно общих водных ресурсов менее 10%, что согласно приведенной выше классификации рассматривается как низкая. По отношению к местным водным ресурсам только ЮФО имеет высокую нагрузку (30%), для остальных округов она остается низкой.

Что касается оценки состояния водных ресурсов по удельной водообеспеченности, то эти данные приведены в табл. 10.10.

Учитывая крайне неравномерное распределение водных ресурсов по округам, которое не соответствует распределению численности населения, в ряде округов вполне могут возникнуть серьезные проблемы с водообеспечением экономики и населения. Например, как следует из таблицы, по величине местных водных ресурсов Южный и Дальневосточный федеральные округа России различаются почти в 30 раз, по водообеспеченности населения общими водными ресурсами примерно в 20 раз, а местными — более чем в 100 раз. Очень хорошо обеспечены водными ресурсами Дальневосточный и Сибирский федеральные округа, несколько менее — Уральский и Северо-Западный; ограниченные водные ресурсы и очень низкую водообеспеченность относительно местных водных ресурсов имеют наиболее густо населенные округа — Центральный, Южный и Приволжский. Эти округа, имеющие относительно малые водные ресурсы, обладают и наибольшей их многолетней изменчивостью ($C_1 = 0,015–0,22$), что означает, что в маловодные годы они могут иметь весьма серьезные проблемы с водообеспечением. Особенно это относится к ЦФО, где особенно большая численность населения и даже относительно общих водных ресурсов удельная водообеспеченность характеризуется как низкая.

Таблица 10.10

Современная удельная водообеспеченность федеральных округов (в 1000 м³/год на человека)

Федеральные округа	Средние водные ресурсы за период 1930–2005 гг., км ³ /год			Численность населения (перепись 2002 г.), млн	Потенциальная водообеспеченность, тыс. м ³ на одного человека	
	местные	приток	общие		общими в. р.	местными
Центральный	108	22,3	131	38,00	3,44	2,84
Северо-Западный	554	65,0	619	13,97	44,3	39,6
Южный	53,3	270	323	22,9	14,1	2,32
Приволжский	173	113	286	31,15	9,18	5,55
Уральский	385	217	601	12,37	48,6	31,1
Сибирский	1277	59,1	1336	20,06	66,5	63,6
Дальневосточный	1566	295	1861	6,69	278	234

10.5.3. Водопотребление, нагрузка на водные ресурсы и водообеспеченность субъектов РФ и гидроклиматических регионов

Как известно, водные ресурсы распределены на территории России крайне неравномерно. Среди субъектов Федерации наибольшие суммарные водные ресурсы имеют Красноярский край и Республика Саха (Якутия) (соответственно 950 и 899 км³/год), наименьшие — Республика Калмыкия, Республика Ингушетия, Белгородская, Курганская и Курская области (соответственно 1,64, 1,85, 2,71, 3,78 и 3,66 км³/год); еще 10 субъектов имеют водные ресурсы меньше 8 км³ в год.

Абсолютные значения водных ресурсов субъектов Федерации различаются в сотни раз, а удельная потенциальная водообеспеченность населения — в тысячи раз.

В табл. 10.11 приведены данные по водным ресурсам и потенциальной водообеспеченности субъектов РФ, располагающих самыми низкими и самыми большими водными ресурсами.

Следует отметить, что основной объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов России приходится на речные бассейны, расположенные в пределах Красноярского края (735 км³/год), Республики Саха (Якутия) (566 км³/год), Тюменской обл. (344 км³/год), Камчатской обл. (265 км³/год), Хабаровского края (244 км³/год), Архангельской обл. (201 км³/год), Чу-

котского АО (181 км³/год), Иркутской обл. (175 км³/год), Республики Коми (158 км³/год), Магаданской обл. (119 км³/год), Амурской обл. (84,6 км³/год), Республики Бурятия (76,2 км³/год), Читинской обл. (68,8 км³/год), Сахалинской обл. (57,8 км³/год) и Томской обл. (57,8 км³/год). В этих 15 регионах формируется более 80% всего местного стока России (4118 км³/год).

Средняя природная водообеспеченность местным стоком в России составляет 28,4 тыс. м³/год на человека и колеблется по субъектам РФ от 1,53 в Ставропольском крае до 7000 м³/год на человека в Автономных округах Сибирского и Дальневосточного ФО. Субъекты Федерации, расположенные в районах недостаточного увлажнения и обладающие очень ограниченными водными ресурсами, имеют, как правило, и очень большую их изменчивость, как в многолетнем разрезе ($C_v = 0,11-0,92$), так и внутри года, что накладывает весьма значительные дополнительные трудности в решение проблем водообеспечения.

Серьезные проблемы водообеспечения имеют место и в достаточно увлажненных регионах, имеющих развитую экономику и высокую плотность населения; удельная водообеспеченность населения в этих регионах обычно очень мала, а водные ресурсы имеют высокую степень загрязнения. При этом хозяйственная деятельность человека в значительной степени обостряет проблемы водообеспечения в регионах с ограниченными водными ресурсами.

В настоящее время на различные хозяйственные нужды в РФ используется 61,3 км³/год пресной

Таблица 10.11

Водные ресурсы и потенциальная водообеспеченность населения субъектов РФ, расположенных в экстремально различных физико-географических условиях

Субъекты Федерации	Численность населения, тыс. чел. (перепись 2002 г.)	Водные ресурсы и изменчивость, км ³ /год				Потенциальная водообеспеченность одного жителя, тыс. м ³ /год	
		местные	C_v	приток	суммарные	местными ресурсами	суммарными ресурсами
Очень низкие водные ресурсы и водообеспеченность							
Республика Калмыкия	292,4	1,41	0,76	0,23	1,64	4,82	5,61
Белгородская обл.	1511,6	2,51	0,32	0,20	2,71	1,66	1,79
Курганская обл.	1019,5	1,04	0,87	2,74	3,78	1,0	3,71
Курская обл.	1235,1	3,60	0,28	0,06	3,66	2,91	2,96
Орловская обл.	860,3	3,47	0,25	0,68	4,15	3,61	4,82
Очень большие водные ресурсы и водообеспеченность							
Красноярский край	2966,0	735	0,12	215	950	247	320
Таймырский АО	39,8	297	0,2	629	927	7462	23 291
Республика Саха (Якутия)	949,3	566	0,12	333	899	596	947
Тюменская обл.	3264,8	344	0,17	243	587	106	180
Ямало-Ненецкий АО	507,0	204	0,13	381	585	402	1154

воды. Более 80% этого объема приходится на субъекты с водопотреблением более 0,5 км³/год. Данные по этим субъектам РФ представлены в табл. 10.12.

Как следует из таблицы, наибольшие объемы водопотребления наблюдаются в тех регионах, которые имеют наибольшие площади орошаемых земель (Республика Дагестан, Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область). Так как сельское хозяйство не играет главной роли в образовании валового регионального продукта, то его значение для этих субъектов, за исключением Краснодарского края, невелико.

Остальную группу образуют высокоразвитые регионы, промышленное производство в которых занимает основное место в экономике, или регионы, специализирующиеся на добывающих и обрабатывающих производствах, например, Тюменская обл. и Красноярский край, где объем ВРП сопоставим с ВРП таких высокоразвитых регионов, как г. Москва, Московская область, г. Санкт-Петербург, г. Свердловск.

Следует отметить, что в промышленном водопотреблении главным потребителем воды являются тепловые и атомные станции, именно поэтому в промышленном водопотреблении лидируют Ставропольский, Красноярский, Пермский края, Ленинградская, Ростовская, Кемеровская, Оренбургская, Костромская, Тюменская, Мурманская и другие области.

Анализ величин водопотребления, объемов ВРП и его отраслевой структуры показал, что для субъектов РФ практически отсутствует зависимость

между объемом использованной воды и величиной ВРП. Структура ВРП позволяет лишь выделить группы субъектов, которые специализируются на том или ином виде хозяйственной деятельности. В качестве подтверждения этого вывода, на схеме (рис. 10.12) приведены регионы-лидеры, вносящие наибольший вклад в общий объем ВРП России. Как следует из этой схемы, величины ВРП субъектов никак не коррелируют с объемом их водопотребления, представленным в табл. 10.12.

Сопоставление имеющихся данных по водозаборам и сбросам вод в субъектах РФ дает возможность приблизительно оценить величины безвозвратного водопотребления в каждом регионе и соотношения между объемами безвозвратного и полного водопотребления. Как уже указывалось выше, полученные таким образом данные по величинам безвозвратного водопотребления крайне ориентировочны, тем не менее можно отметить некоторые закономерности в величинах указанных соотношений, которые по регионам изменяются в очень больших пределах в зависимости от структуры водопотребления и климатических условий. В качестве примера на рис. 10.13 представлена динамика полного и безвозвратного водопотребления для 4 существенно отличающихся по уровню социально-экономического развития, видам водопотребления и климатическим условиям субъектов РФ. Так, в Архангельской области, занимающей 25 место среди субъектов по промышленному производству, в условиях холодного и влажного климата это соотношение составляет всего примерно 5%. В Нижего-

Доля регионов-лидеров в суммарном объеме ВРП России в 2005 г. (оценка)



Рис. 10.12. Доля регионов-лидеров в суммарном объеме ВРП России в 2005 г.

родской области, которая входит в первые 20 областей, как по промышленному, так и по сельскохозяйственному производству, в условиях умеренного климата это соотношение примерно равно 6–7%. На юге России, в Дагестане, где имеются большие площади орошаемых земель безвозвратное водопотребление составляет до 55–60% от водозабора. В областях, где главным водопотребителем являются крупные ТЭС и АЭС (например, Ленинградская и Костромская области), безвозвратное водопотребление может составлять 1–2% от водозабора.

Выполненные оценки величин нагрузки на водные ресурсы и водообеспеченности для всех субъектов РФ позволяют дать анализ состояния исполь-

зования водных ресурсов в каждом регионе в соответствии с приведенными в разд. 10.5.1 классификациями.

Естественно, что состояние использования водных ресурсов в значительной степени зависит не только от объемов водопотребления, но и от того, какие водные ресурсы рассматриваются — местные или суммарные, среднегодовые за многолетний период или за маловодные годы.

Если рассматривать состояние использования относительно суммарных водных ресурсов, то подавляющее большинство субъектов РФ имеют на уровень 2005 г. среднюю или низкую нагрузку на водные ресурсы ($K_{исп} < 20\%$) и среднюю и высокую

Таблица 10.12

Объемы и структура водопотребления в субъектах РФ с наибольшими заборами пресной воды на хозяйственные нужды и величин ВРП на 2005 г.

Субъекты РФ по убыванию объема водопотребления	Суммарный водозабор, км ³ /год	Площадь орошаемых земель, тыс. га	Использование воды на различные нужды, км ³ /год		ВРП, млрд руб.
			производственно-коммунальные	сельскохозяйственные	
Республика Дагестан	3,32	385	0,17	2,30	96,9
Краснодарский край	3,10	391	0,84	2,15	371
Ставропольский край	2,78	335	1,96	0,64	147
Красноярский край	2,76	19,4	2,56	0,009	442
Пермский край	2,74	16,9	2,72	0,003	339
г. Москва	2,63	0,0	2,63	0,0003	4006
Ростовская обл.	2,28	241	1,44	0,72	264
Кемеровская обл.	2,06	21,8	1,96	0,009	296
Тюменская обл.	1,82	3,6	1,37	0,011	2224
Мурманская обл.	1,63	0,0	1,60	0,001	142
Оренбургская обл.	1,60	64,1	1,54	0,022	214
Ленинградская обл.	1,38	12,7	1,36	0,003	212
Костромская обл.	1,57	1,2	1,56	0,005	45,1
Московская обл.	1,49	140	1,23	0,027	704
Тверская обл.	1,29	5,4	1,28	0,008	94,9
Нижегородская обл.	1,20	24,7	1,12	0,012	297
Свердловская обл.	1,18	33,9	1,16	0,010	482
г. Санкт-Петербург	1,17	0,0	1,10	0,003	668
Самарская обл.	1,03	144	0,84	0,054	402
Иркутская обл.	0,95	26,0	0,94	0,011	269
Астраханская обл.	0,94	219	0,23	0,481	70,8
Волгоградская обл.	0,83	222	0,38	0,383	206
Челябинская обл.	0,80	98,4	0,75	0,022	350
Республика Башкортостан	0,78	64,7	0,71	0,032	381
Новосибирская обл.	0,76	36,7	0,64	0,061	241
Республика Татарстан	0,74	169	0,68	0,026	489
Саратовская обл.	0,66	257	0,43	0,133	169
Томская обл.	0,62	3,9	0,59	0,003	158
Приморский край	0,50	90,2	0,48	0,020	189

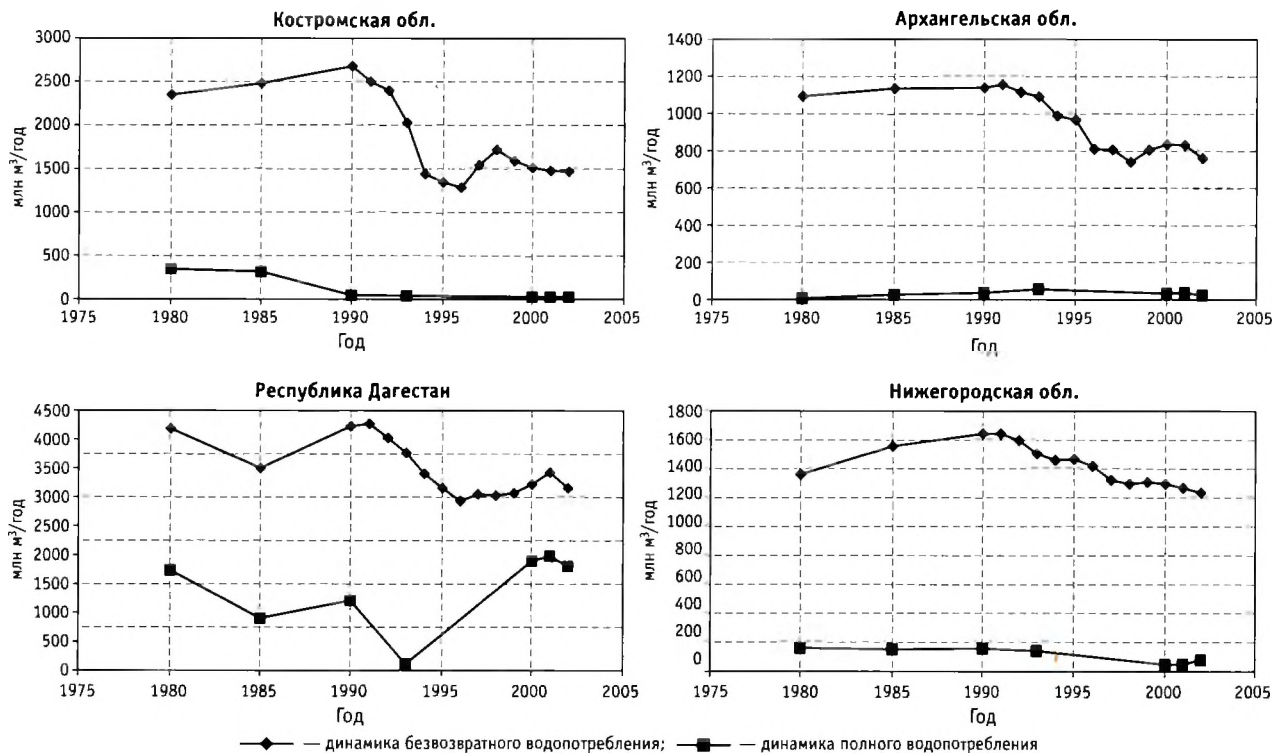


Рис. 10.13. Динамика водопотребления в различных субъектах РФ за период 1980–2002 гг.

водообеспеченность ($> 5000 \text{ м}^3/\text{год}$ на одного человека), причем не только в средние по водности, но и в маловодные годы.

Об этом, в частности, свидетельствуют данные, приведенные в табл. 10.13, где представлены основные характеристики всех субъектов РФ, имеющих высокую нагрузку на водные ресурсы ($K_{\text{нпн}} > 20\%$) или низкую водообеспеченность ($< 5000 \text{ м}^3/\text{год}$) относительно суммарных водных ресурсов в средние и маловодные периоды. Это 23 региона, расположенные в основном в Центральном, Южном и Приволжском федеральных округах, которые имеют или ограниченные водные ресурсы, или высокую численность населения, или очень большое водопотребление, или совокупность этих факторов, что обуславливает и высокую нагрузку на водные ресурсы и низкую водообеспеченность.

Как следует из табл. 10.13, в средние по водности годы высокую нагрузку на водные ресурсы и низкую водообеспеченность имеют только 3 региона — Ставропольский край (здесь не учитывается переброска стока из других регионов), Республика Калмыкия и Московская область с г. Москвой; эти же

регионы имеют низкую или очень низкую водообеспеченность. Низкую водообеспеченность по средним по водности годам, кроме вышеперечисленных субъектов РФ, имеют еще 9 регионов: это Белгородская, Курская, Орловская, Тамбовская, Пензенская, Курганская и Челябинская области, Краснодарский край и Республика Ингушетия, при этом все они имеют среднюю или низкую нагрузку на водные ресурсы.

В маловодные годы все перечисленные в табл. 10.13 субъекты РФ имеют низкую, очень низкую и даже катастрофически низкую водообеспеченность. При этом в Челябинской области при катастрофически низкой водообеспеченности возможна и высокая нагрузка на водные ресурсы. Указанная в таблице высокая нагрузка на водные ресурсы в маловодные годы для Ленинградской области имеет условный характер, поскольку она обусловлена исключительно большим водозабором морской воды для нужд Ленинградской АС.

Важно отметить, что представленные в таблице субъекты РФ, имеющие наиболее острые проблемы водообеспечения особенно в маловодные годы, являются наиболее густо населенными и экономиче-

Таблица 10.13

Субъекты РФ с высокой нагрузкой на водные ресурсы ($K_{исп} > 20\%$) или с низкой водообеспеченностью ($< 5000 \text{ м}^3/\text{год}$) относительно суммарных водных ресурсов в средние по водности и маловодные годы

Регионы	Площадь, тыс. кв. км	Суммарные водные ресурсы, км ³ /год		Числ. населен., млн чел., 2005 г.	Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Нагрузка на суммарные водные ресурсы, %		Водообеспеченность, тыс. м ³ /год на чел.	
		средние многолетние	средние за маловод. период		полное	безвозвратное	на средние многолетние	за маловодный период	средними многолетними водными ресурсами	водными ресурсами в маловодный период
Центральный ФО										
Белгородская обл.	27,10	2,71	1,62	1,51	0,31	0,14	11,4	19,1	1,70	0,98
Брянская обл.	34,90	7,62	5,10	1,35	0,13	0,04	1,71	2,55	5,61	3,75
Воронежская обл.	52,40	13,6	6,00	2,33	0,56	0,19	4,12	9,33	5,76	2,49
Курская обл.	29,80	3,66	2,13	1,20	0,32	0,18	8,74	15,0	2,90	1,63
Липецкая обл.	24,10	6,32	3,30	1,19	0,25	0,08	3,96	7,58	5,24	2,71
Московская обл., г. Москва	46,90	19,6	12,2	17,04	4,12	0,37	21,0	33,8	1,13	0,69
Орловская обл.	24,70	4,15	2,60	0,84	0,12	0,04	2,89	4,62	4,89	3,05
Тамбовская обл.	34,30	4,21	2,52	1,14	0,19	0,11	4,51	7,54	3,60	2,11
Тульская обл.	25,70	10,9	7,60	1,62	0,36	0,09	3,30	4,74	6,67	4,64
Северо-Западный ФО										
Ленинградская обл., г. С.-Петербург	85,30	91,4	28,6	6,25	7,05	0,07	7,71	24,7	14,6	4,56
Южный ФО										
Республика Ингушетия	3,20	1,85	0,73	0,48	0,06	0,01	3,24	8,22	3,83	1,50
Республика Калмыкия	75,90	1,64	0,25	0,29	0,37	0,11	22,6	148	5,28	0,48
Краснодарский край	76,00	24,2	17,4	5,10	3,10	1,36	12,8	17,8	4,48	3,15
Ставропольский край	66,50	5,58	0,46	2,72	2,78	1,27	49,8	604	1,58	0,00
Ростовская обл.	100,80	25,3	12,7	4,33	2,28	0,80	9,01	18,0	5,66	2,75
Приволжский ФО										
Республика Башкортостан	143,60	36,7	19,0	4,08	0,78	0,24	2,13	4,11	8,94	4,60
Республика Мордовия	26,20	5,13	2,54	0,87	0,07	0,02	1,36	2,76	5,87	2,90
Оренбургская обл.	124,00	13,2	3,50	2,15	1,60	0,14	12,1	45,7	6,07	1,56
Пензенская обл.	43,20	5,92	2,84	1,42	0,28	0,01	4,73	9,86	4,16	1,99
Уральский ФО										
Курганская обл.	71,00	3,78	0,69	0,99	0,07	0,01	1,85	10,1	3,81	0,69
Свердловская обл.	194,80	33,2	15,7	4,43	1,18	0,02	3,55	7,52	7,49	3,54
Челябинская обл.	87,90	7,97	3,35	3,55	0,80		10,0	23,9	2,24	0,94
Сибирский ФО										
Омская обл.	139,70	38,6	9,50	2,05	0,30	0,08	0,78	3,16	18,8	4,60
Всего:	1538	367	160	66,9	27,1	5,38				

ски развитыми регионами нашей страны; общая площадь этих регионов составляет 9% территории РФ. Здесь формируется только 4,1% водных ресурсов, а суммарные водные ресурсы составляют 8,3% от общероссийских, и вместе с тем здесь проживает 47% всего населения с объемом водопотребления на хозяйственные нужды, составляющим 44% от общего водопотребления в стране.

В табл. 10.14 представлены основные характеристики всех субъектов РФ, которые имеют высокую нагрузку на водные ресурсы и низкую водообеспеченность относительно местных водных ресурсов, т. е. которые формируются на территории каждого региона. Этот перечень включает уже более 40 субъектов РФ, все они имеют низкую, очень низкую и катастрофически низкую водообеспеченность

Субъекты РФ с высокой нагрузкой на водные ресурсы ($K_{исп} > 20\%$) или с низкой водообеспеченностью (< 5000 куб. м/год) относительно местных водных ресурсов в средние по водности и маловодные годы

Регионы	Площадь, тыс. км ²	Местные водные ресурсы, км ³ /год		Числ. населен., млн чел., 2005 г.	Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Нагрузка на местные водные ресурсы, %		Водообеспеченность, тыс. м ³ /год на чел.	
		средние многолетние	средние за маловод. период		полное	безвозвратное	на средние многолетние	за маловод. период	средними многолетними водными ресурсами	водными ресурсами в маловодный период
Центральный ФО										
Белгородская обл.	27,10	2,51	1,50	1,51	0,31	0,14	12,4	20,7	1,57	0,90
Брянская обл.	34,90	5,37	3,60	1,35	0,13	0,04	2,42	3,61	3,95	2,64
Владимирская обл.	29,00	4,86	3,00	1,49	0,19	0,03	3,91	6,33	3,24	1,99
Воронежская обл.	52,40	3,30	1,40	2,33	0,56	0,19	17,0	40,0	1,33	0,52
Ивановская обл.	23,90	4,47	3,00	1,12	0,22	0,02	4,92	7,33	3,97	2,66
Калужская обл.	29,90	5,35	3,30	1,02	0,14	0,02	2,62	4,24	5,23	3,22
Курская обл.	29,80	3,60	2,10	1,20	0,32	0,18	8,89	15,2	2,85	1,60
Липецкая обл.	24,10	2,59	1,40	1,19	0,25	0,08	9,65	17,9	2,11	1,11
Московская обл., г. Москва	46,90	8,48	5,30	17,04	4,12	0,37	48,6	77,7	0,48	0,29
Орловская обл.	24,70	3,47	2,20	0,84	0,12	0,04	3,46	5,45	4,08	2,57
Рязанская обл.	39,60	5,53	3,80	1,20	0,22	0,05	3,98	5,79	4,57	3,13
Тамбовская обл.	34,30	3,67	2,20	1,14	0,19	0,11	5,18	8,64	3,12	1,83
Тульская обл.	25,70	3,88	2,70	1,62	0,36	0,09	9,28	13,3	2,34	1,61
Ярославская обл.	36,40	6,94	3,00	1,34	0,33	0,04	4,76	11,0	5,15	2,21
Северо-Западный ФО										
Калининградская обл.	15,10	2,31	1,07	0,94	0,17	0,01	7,36	15,9	2,45	1,13
Ленинградская обл., г. С. Петербург	85,30	23,3	8,00	6,25	7,05	0,07	30,3	88,1	3,72	1,27
Южный ФО										
Республика Адыгея	7,60	2,62	1,19	0,44	0,08	0,00	3,05	6,72	5,95	2,70
Республика Дагестан	50,30	8,33	6,78	2,62	3,32	2,28	39,9	49,0	2,31	1,72
Республика Ингушетия	3,20	0,60	0,23	0,48	0,06	0,01	10,0	26,1	1,23	0,46
Кабардино-Балкарская Республика	12,50	2,90	2,10	0,90	0,46	0,41	15,9	21,9	2,77	1,88
Республика Калмыкия	75,90	1,41	0,22	0,29	0,37	0,11	26,2	168	4,48	0,38
Республика Северная Осетия — Алания	8,00	3,85	3,10	0,70	0,22	0,10	5,71	7,10	5,36	4,29
Чеченская Республика	16,10	2,13	1,43	1,14	0,33	0,29	15,5	23,1	1,61	1,00
Краснодарский край	76,00	16,0	11,6	5,10	3,10	1,36	19,4	26,7	2,87	2,01
Ставропольский край	66,50	0,79	0,06	2,72	2,78	1,27	352	4 633	0,00	0,00
Астраханская обл.	44,10	0,00	0,00	1,00	0,94	0,53			0,00	0,00
Волгоградская обл.	114,10	4,81	2,42	2,66	0,83	0,62	17,3	34,3	1,58	0,68
Ростовская обл.	100,80	3,43	1,76	4,33	2,28	0,80	66,5	130	0,61	0,22
Приволжский ФО										
Республика Башкортостан	143,60	26,3	13,6	4,08	0,78	0,24	2,97	5,74	6,39	3,27
Республика Марий Эл	23,20	3,94	3,16	0,72	0,10	0,02	2,54	3,16	5,44	4,36
Республика Мордовия	26,20	3,26	1,64	0,87	0,07	0,02	2,15	4,27	3,72	1,86
Республика Татарстан	68,00	8,52	3,82	3,77	0,74	0,09	8,69	19,4	2,24	0,99
Удмуртская Республика	42,10	8,92	5,36	1,55	0,29	0,09	3,25	5,41	5,70	3,40

Окончание табл. 10.14

Регионы	Площадь, тыс. км ²	Местные водные ресурсы, км ³ /год		Числ. населен., млн чел., 2005 г.	Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Нагрузка на местные водные ресурсы, %		Водообеспеченность, тыс. м ³ /год на чел.	
		средние многолетние	средние за маловод. период		полное	безвозвратное	на средние многолетние	за маловод. период	средними многолетними водными ресурсами	водными ресурсами в маловодный период
Чувашская Республика	18,30	3,02	0,50	1,30	0,13	0,00	4,30	26,0	2,32	0,38
Нижегородская обл.	76,70	12,1	8,13	3,44	1,20	0,16	9,92	14,8	3,47	2,32
Оренбургская обл.	124,00	7,36	2,00	2,15	1,60	0,14	21,7	80,0	3,36	0,87
Пензенская обл.	43,20	5,20	2,50	1,42	0,28	0,01	5,38	11,2	3,65	1,75
Самарская обл.	53,60	4,61	1,90	3,20	1,03	0,26	22,3	54,2	1,36	0,51
Саратовская обл.	100,20	5,49	2,20	2,63	0,66	0,38	12,0	30,0	1,94	0,69
Ульяновская обл.	37,30	4,97	2,18	1,35	0,18	0,06	3,62	8,26	3,64	1,57
Уральский ФО										
Курганская обл.	71,00	1,04	0,19	0,99	0,07	0,01	6,73	36,8	1,04	0,18
Свердловская обл.	194,80	31,9	15,1	4,43	1,18	0,02	3,70	7,81	7,20	3,40
Челябинская обл.	87,90	7,15	3,00	3,55	0,80		11,2	26,7	2,01	0,85
Сибирский ФО										
Новосибирская обл.	178,20	5,74	0,00	2,66	0,76	0,14	13,2		2,11	0,00
Омская обл.	139,70	5,65	1,40	2,05	0,30	0,08	5,31	21,4	2,72	0,64
Агинский Бурятский АО	19,00	0,99	0,21	0,07	0,00		0,00	0,00	14,1	3,00
Всего:	2581	282	145	104	40	11,0				

в маловодные годы. Хотя следует отметить, что это достаточно условные величины, поскольку многие из этих регионов имеют возможность обеспечивать свои потребности за счет речного стока, поступающего из прилегающих регионов. К примеру, на территории Астраханской области практически вообще не формируются поверхностные водные ресурсы.

По данным таблицы, в средние по водности годы 7 регионов имеют крайне неблагоприятные показатели одновременно по нагрузке на водные ресурсы и водообеспеченности; это Ростовская, Оренбургская и Самарская области, Московская область с г. Москва, Республики Дагестан и Калмыкия, Ставропольский край.

Все субъекты РФ, данные по которым приведены в табл. 10.14, расположены в южных и центральных, наиболее обжитых регионах России, где проживает большая часть населения нашей страны; это 15% территории страны, где формируется всего 6,6% водных ресурсов, но проживает 73% всего населения с объемом водопотребления на хозяйственные нужды, составляющим 65% от общероссийского.

Характеристики водных ресурсов и их использования по всем субъектам РФ, представленные в табл. 10.13 и 10.14, относятся к современному периоду, т. е. к 2005 г. Наибольший практический

интерес представляет оценка состояния водных ресурсов на ближайшую перспективу, которая может происходить не только за счет изменений характеристик водопотребления и численности населения, но и величин самих водных ресурсов в результате естественных циклических колебаний климата и процессов глобального потепления, обусловленных антропогенными воздействиями на состав атмосферы. Возможные в перспективе изменения водных ресурсов рассматриваются в следующей главе; они имеют крупномасштабный характер и могут быть представлены не для относительно небольших по площади субъектов РФ, а для крупных речных систем или обширных регионов, имеющих более или менее сходные физико-географические условия. С точки зрения анализа проблем использования водных ресурсов такие регионы должны иметь и близкие социально-экономические характеристики.

Для решения этих задач на всей территории РФ в составе федеральных округов были выделены 15 так называемых гидроклиматических регионов, которые имеют близкие физико-географические условия формирования и изменения водных ресурсов и включают в себя определенное количество субъектов РФ с более или менее сходными чертами социально-экономического развития.

Таблица 10.15

Продолжение табл. 10.15

**Распределение субъектов РФ
по гидроклиматическим регионам**

Регион	Субъекты РФ	Федеральные округа
1	Архангельская обл.	Северо-Западный
1	Мурманская обл.	Северо-Западный
1	Ненецкий АО	Северо-Западный
1	Республика Карелия	Северо-Западный
1	Республика Коми	Северо-Западный
2	Калининградская обл.	Северо-Западный
2	Ленинградская обл.	Северо-Западный
2	Вологодская обл.	Северо-Западный
2	Новгородская обл.	Северо-Западный
2	Псковская обл.	Северо-Западный
3	Брянская обл.	Центральный
3	Владимирская обл.	Центральный
3	Ивановская обл.	Центральный
3	Калужская обл.	Центральный
3	Костромская обл.	Центральный
3	Московская обл.	Центральный
3	Рязанская обл.	Центральный
3	Смоленская обл.	Центральный
3	Тверская обл.	Центральный
3	Тульская обл.	Центральный
3	Ярославская обл.	Центральный
4	Белгородская обл.	Центральный
4	Воронежская обл.	Центральный
4	Курская обл.	Центральный
4	Липецкая обл.	Центральный
4	Орловская обл.	Центральный
4	Тамбовская обл.	Центральный
5	Астраханская обл.	Южный
5	Волгоградская обл.	Южный
5	Кабардино-Балкарская Республика	Южный
5	Карачаево-Черкесская Республика	Южный
5	Краснодарский край	Южный
5	Республика Адыгея	Южный
5	Республика Дагестан	Южный
5	Республика Ингушетия	Южный
5	Республика Калмыкия	Южный
5	Республика Северная Осетия — Алания	Южный
5	Ростовская обл.	Южный

Регион	Субъекты РФ	Федеральные округа
5	Ставропольский край	Южный
5	Чеченская Республика	Южный
6	Кировская обл.	Приволжский
6	Коми-Пермяцкий АО	Приволжский
6	Нижегородская обл.	Приволжский
6	Оренбургская обл.	Приволжский
6	Пензенская обл.	Приволжский
6	Пермская обл.	Приволжский
6	Республика Башкортостан	Приволжский
6	Республика Марий Эл	Приволжский
6	Республика Мордовия	Приволжский
6	Республика Татарстан	Приволжский
6	Самарская обл.	Приволжский
6	Саратовская обл.	Приволжский
6	Удмуртская Республика	Приволжский
6	Ульяновская обл.	Приволжский
6	Чувашская Республика	Приволжский
7	Курганская обл.	Уральский
7	Свердловская обл.	Уральский
7	Челябинская обл.	Уральский
8	Тюменская обл.	Уральский
8	Ханты-Мансийский АО	Уральский
8	Ямало-Ненецкий АО	Уральский
9	Алтайский край	Сибирский
9	Кемеровская обл.	Сибирский
9	Республика Алтай	Сибирский
9	Новосибирская обл.	Сибирский
9	Омская обл.	Сибирский
9	Томская обл.	Сибирский
10	Агинский Бурятский АО	Сибирский
10	Иркутская обл. (южн. и ср. части)	Сибирский
10	Красноярский край (южная часть)	Сибирский
10	Республика Бурятия	Сибирский
10	Республика Тыва	Сибирский
10	Республика Хакасия	Сибирский
10	Усть-Ордынский Бурятский АО	Сибирский
10	Читинская обл.	Сибирский
11	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	Сибирский

Окончание табл. 10.14

Регион	Субъекты РФ	Федеральные округа
11	Красноярский край (ср. и сев. части)	Сибирский
11	Иркутская обл. (северная часть)	Сибирский
11	Эвенкийский АО	Сибирский
12	Республика Саха (Якутия)	Дальневосточный
13	Камчатская обл.	Дальневосточный
13	Корякский АО	Дальневосточный
13	Магаданская обл.	Дальневосточный
13	Чукотский АО	Дальневосточный
14	Амурская обл.	Дальневосточный
14	Еврейская авт. обл.	Дальневосточный
14	Сахалинская обл.	Дальневосточный
14	Хабаровский край	Дальневосточный
15	Приморский край	Дальневосточный

Как правило, границы этих регионов совпадают с границами субъектов РФ. Распределение гидроклиматических регионов по территории России представлено на карто-схеме (см. цв. вкл., рис. 22),

а состав субъектов РФ, которые входят в каждый регион, приведен в табл. 10.15.

Основные характеристики местных водных ресурсов и их использования на уровень 2005 г. для каждого гидроклиматического региона представлены в табл. 10.16 и для наглядности на цв. вкл., рис. 23. Как видим из таблицы, в условиях средней водности высокая нагрузка на водные ресурсы ($K_{исп} > 20\%$) отмечается только в одном регионе (№ 5), который представляет собой Южный федеральный округ; еще в одном регионе (№ 4 — Черноземные области ЦФО) имеет место умеренная нагрузка ($K_{исп} = 10-20\%$). Что касается низкой (<5000 тыс. м³) водообеспеченности по среднегодовым величинам водных ресурсов, то она наблюдается в четырех гидроклиматических регионах, расположенных в Центральном, Южном и Уральском федеральных округах (табл. 10.16).

В маловодные годы высокая нагрузка на водные ресурсы также наблюдается только в одном гидроклиматическом регионе, а низкая водообеспеченность — в 5 регионах. Как показано на карте-схеме (см. цв. вкл., рис. 23), все эти регионы составляют целиком Центральный, Южный и Приволжский федеральные округа и небольшую южную часть Уральского федерального округа, где проживает почти 70% населения страны. Все остальные 10 гид-

Таблица 10.16

Поверхностные водные ресурсы и их использование по гидроклиматическим регионам

Регионы	Площадь, тыс. км ²	Местные водные ресурсы, км ³ /год		Численность населения, млн чел., 2005 г.	Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Нагрузка на местные водные ресурсы, %		Водообеспеченность тыс. м ³ /год на человека	
		средние многолетние	средние за маловодный период		полное	безвозвратное	на средние многолетние	за маловод. период	по средним многолетним ресурсам	в маловодный период
№ 1. Север ЦФО	460	89,2	54,9	29,3	8,69	1,41	9,74	15,8	3,00	1,83
№ 2. ЦЧО ЦФО	192	19,1	10,8	7,75	2,04	0,61	10,7	18,9	2,39	1,31
№ 3. Север СЗФО	1321	467	379	3,88	3,00	0,33	0,64	0,79	120	97,6
№ 4. Запад СЗФО	357	90,5	54,1	9,85	8,09	0,90	8,94	15,0	9,10	5,40
№ 5. Южный ФО	589	53,3	35,6	22,8	14,0	7,22	26,3	39,3	2,02	1,24
№ 6. Приволжский ФО	1038	173	95,1	30,7	10,3	1,94	5,95	10,8	5,57	3,03
№ 7. Юг Уральского ФО	354	40,1	18,3	8,97	2,10	0,39	5,24	11,5	4,43	2,00
№ 8. Север Уральского ФО	1435	344	248	3,52	1,37	0,16	0,40	0,55	97,7	70,4
№ 9. Юго-запад Сибирского ФО	992	163	109	11,4	4,03	0,63	2,47	3,70	14,2	9,51
№ 10. Юг Сибирского ФО	1770	522	347	6,89	2,73	0,54	0,52	0,79	75,7	50,3
№ 11. Север Сибирского ФО	2353	593	236	1,72	1,95	0,21	0,33	0,83	345	137
№ 12. Центр и север ДВ ФО	3103	566	470	0,95	0,12	0,02	0,02	0,03	596	495
№ 13. Северо-восток ДВ ФО	1671	565	462	0,58	0,31	0,03	0,05	0,07	974	796
№ 14. Юг и юго-восток ДВ ФО	1275	394	266	3,03	0,81	0,10	0,21	0,30	130	87,8
№ 15. Юго-восток ДВ ФО	166	41,3	25,6	2,03	0,50	0,06	1,21	1,95	20,3	12,6
Всего:	17077	4118	2810	143	60,0	14,6	1,46	2,14	28,7	19,5

роклиматических регионов, площадь которых составляет 85% всей территории страны, в современных условиях даже в маловодные годы имеют очень низкую (< 2,5%) нагрузку на водные ресурсы и очень высокую (> 10 000 м³/год) удельную водообеспеченность.

Оценка этих показателей на перспективу до 2020 г. при ожидаемом развитии социально-экономических условий и возможных изменений климата рассматривается в следующей главе настоящей монографии.

10.6. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО РЕГИОНАМ И СУБЪЕКТАМ РФ

Комплексная оценка качества воды водных объектов на территории семи федеральных округов и входящих в них субъектов Федерации выполнена по данным сети Росгидромета, получаемым в течение 2000–2005 гг.

Проведена классификация степени загрязненности воды и условное разделение диапазона состава и свойств поверхностных вод в условиях антропогенного воздействия на различные интервалы качества воды по пяти классам от «условно чистой» до «экстремально грязной» (РД. 52.24.643–2002).

Для наглядности качество воды водных объектов каждого федерального округа и некоторых субъектов Федерации, входящих в них, отображено на соответствующих картах (см. цв. вкл., рис. 24–30). На картах показано процентное соотношение классов качества воды водных объектов каждого региона. По окружности символов классов качества показаны критические загрязняющие вещества и тенденции изменения качества воды (стабилизация, улучшение, ухудшение).

Водные объекты **Центрального федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 24). Наиболее напряжена экологическая обстановка на водных объектах Московской области. Вода большинства рек Московской области характеризуется 4-м классом качества, как «грязная» и «очень грязная», р. Москва в районе д. Мячково как «экстремально грязная», и загрязненность воды реки увеличивается ниже сбросов Курьяновской и Люберецкой станций аэрации, где число критических показателей загрязненности воды достигает пяти: легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), фенолы, аммо-

нийный и нитритный азот, соединения меди. Невысок уровень загрязненности воды водных объектов на территории Брянской области; 3-м классом качества, как «загрязненная», оценивается вода водных объектов на территории Воронежской, Курской, Липецкой, Орловской, Рязанской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Ярославской областей.

Водные объекты **Северо-Западного федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 25). Крайне неудовлетворительное качество воды большинства малых рек Мурманской области. На протяжении десятилетий в районах развитой горнодобывающей, горнообогатительной и металлургической промышленности в воде ряда рек Кольского полуострова достигался уровень «высокого загрязнения» (ВЗ) и «экстремально-высокого загрязнения» (ЭВЗ) металлами, различными формами минерального азота, сульфатами. Вода большинства малых рек Кольского полуострова оценивается как «грязная» и «очень грязная», отдельных — как «экстремально грязная». В Вологодской области высок уровень загрязненности воды р. Пельшма, г. Сокол, вода которой в течение десятилетий относится к 5-му классу качества и характеризуется как «экстремально грязная». Для воды реки характерен дефицит растворенного в воде кислорода; концентрации легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), аммонийного азота, фенолов достигают критического уровня загрязненности воды; лигносульфонаты и метанол являются специфическими загрязняющими веществами. Вода р. Вологда, г. Вологда (Вологодская область) и р. Преголя, г. Калининград (Калининградская область) характеризуется 4-м классом качества. В последние годы до уровня «грязных вод» (4-й класс качества) ухудшилось качество воды р. Нева, г. Санкт-Петербург, ниже впадения р. Охта, (Ленинградская область). Реки Архангельской, Новгородской, Псковской областей, Республик Карелия и Коми характеризуются как «загрязненные» (3-й класс качества).

Водные объекты **Южного федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 26). Поверхностные воды Астраханской области характеризуются 4-м классом качества. Для р. Волга, г. Астрахань специфическими загрязняющими веществами являются соединения металлов, в том числе ртути. Высок уровень загрязненности воды рек Республики Северная Осетия — Алания (р. Терек, р. Камбилеевка), Ставропольского края (р. Кума, г. Минеральные Воды), Волгоградской области (р. Волга, г. Волгоград). Менее

загрязнены водные объекты (на уровне 3 класса, как «загрязненные») Республики Адыгея (р. Белая, г. Майкоп), Кабардино-Балкарской Республики (р. Малка, г. Прохладный; р. Баксан, г. Тырнауз), Краснодарского края (р. Кубань, г. Краснодар и г. Темрюк), Ростовской области (р. Дон, г. Ростов-на-Дону и г. Азов; р. Северский Донец, г. Белая Калитва).

Водные объекты **Приволжского федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 27). Наиболее загрязнены водные объекты Республики Башкортостан, которые в подавляющем большинстве характеризуются как «грязные» (4-й класс качества). Водные объекты Нижегородской (р. Ока, г. Дзержинск и г. Нижний Новгород), Оренбургской (р. Блява, г. Медногорск), Пермской (р. Косью, г. Губаха), Самарской (р. Чапаевка, г. Чапаевск) областей также характеризуются 4-м классом качества. Поверхностные воды Республик Татарстана, Чувашской, Кировской области, некоторые водные объекты Нижегородской, Оренбургской, Пензенской, Пермской, Самарской, Саратовской, Ульяновской областей оцениваются 3-м классом качества как «загрязненные».

Водные объекты **Уральского федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 28). В крайне напряженном экологическом состоянии находятся водные объекты Тюменской и Свердловской областей. Реки Свердловской области в 83,5% створов характеризуются как «грязные» (4-й класс качества), в 47% — как «экстремально грязные» (5-й класс качества). Критического уровня загрязненности воды в отдельных реках достигали от 2 до 5 загрязняющих веществ, которыми в разных вариациях являлись: легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), растворенный в воде кислород, фенолы, аммонийный и нитритный азот, соединения меди, цинка, марганца, шестивалентного хрома. Наиболее высокий уровень загрязненности воды характерен в Челябинской области для р. Миасс, г. Челябинск (5-й класс качества, «экстремально грязная» вода), р. Ай, г. Златоуст; Аргазинского водохранилища, г. Карабай; в Ханты-Мансийском автономном округе — р. Конда, г. Урай (4-й класс качества, «грязная» вода).

Водные объекты **Сибирского федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 29). Наиболее высоким уровнем загрязненности воды (4-й класс качества) характеризуются водные объекты Красноярского края (р. Енисей, г. Красноярск; р. Ужур, г. Ужур), Республик Хакасия (р. Енисей, г. Саяногорск), Бурятии

(р. Модонкуль, г. Закаменск); областей: Иркутской (Усть-Илимское вдхр. (р. Ангара), с. Усть-Вихорева; р. Вихорева, с. Кобляково), Кемеровской (р. М. Бачат, г. Гурьевка; р. Томь, г. Новокузнецк), Новосибирской (р. Каменка, г. Новосибирск — 5-й класс качества), Омской (р. Омь, г. Калачинск), Читинской (р. Чита, р. Аргунь; р. Шилка, г. Шилка).

Водные объекты **Дальневосточного федерального округа** (см. цв. вкл., рис. 30). Вода большинства рек (81% створов) Хабаровского края оценивается 4-м классом качества, как «грязная» и «очень грязная». В Приморском крае наиболее загрязнена р. Дачная, г. Арсеньев; р. Кулешовка, г. Спасск-Дальний, характеризуемые 5-м классом качества, как «экстремально грязные»; р. Рудная, п. Дальнегорск, п. Краснореченский — как «грязная»; в Камчатской области — р. Паужетка, в Магаданской — р. Колыма, п. Усть-Среднекан в Еврейской автономной области — р. Большая Бирь, г. Биробиджан — как «грязные». В Сахалинской области как «экстремально грязная» хронически характеризуется вода р. Охинка, г. Оха, где концентрация в воде нефтепродуктов составляет: среднегодовая — сотни, максимальная — тысячи ПДК.

Обобщая приведенные выше данные многолетних наблюдений за изменением качества поверхностных вод Российской Федерации следует отметить, что для подавляющего большинства водных объектов существенных улучшений качества воды не происходит; 63 водных объекта, расположенных в разных федеральных округах и относящихся к крупным речным бассейнам, находятся в крайне напряженном экологическом состоянии. Вода этих водных объектов десятилетиями оценивается 4-м либо 5-м классами качества, как «грязная», «очень грязная», отдельных водных объектов — как «экстремально грязная». Высокий уровень загрязненности воды, когда среднегодовое содержание одного или нескольких загрязняющих веществ превышает 10 ПДК, стабилизировался на 58 водных объектах, продолжает ухудшаться качество воды на 4-х водных объектах (в Уральском федеральном округе) и только на одном водном объекте наметилась тенденция улучшения качества воды (в Приволжском федеральном округе).

Водные объекты, качество воды которых в течение 2000—2005 гг. характеризовалось 4-м классом разрядов «а», «б», «в» и «г» («грязная» и «очень грязная» вода) и 5-м классом качества («экстремально грязная» вода) по федеральным округам распределились следующим образом:

- Центральный ФО — водные объекты Московской области;
- Северо-Западный ФО — водные объекты Мурманской области;
- Южный ФО — водные объекты Ростовской и Астраханской областей;
- Приволжский ФО — водные объекты Башкортостана;
- Уральский ФО — водные объекты Тюменской, Челябинской и Свердловской областей;
- Сибирский ФО — водные объекты Новосибирской области, Красноярского края;
- Дальневосточный ФО — водные объекты Хабаровского края.

10.7. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И КАЧЕСТВО

10.7.1. Методы оценки

Методы оценки подземных водных ресурсов административных территорий принципиально идентичны описанным выше, в разд. 8.4:

1. Реализованный подход к оценке водных ресурсов административных территорий субъектов РФ исходил из использования карты модулей прогнозных ресурсов. Напомним, что по существу сначала были построены карты модулей прогнозных ресурсов по каждому субъекту Федерации с учетом принятого гидрогеологического районирования. При этом каждому гидрогеологическому району (или обычно его некоторой части), находящемуся в пределах данного субъекта Федерации, соответствовало среднее значение площадного модуля прогнозных ресурсов ($л/с\cdot км^2$). Далее, при известных значениях модулей и соответствующих им площадях легко определить прогнозные ресурсы данной части гидрогеологического района, а при их суммировании — оцениваемой административной территории.

2. Такой подход, несмотря на свою простоту и схематичность, представляется наиболее удобным и универсальным.

Его достоинства заключаются в следующем:

- возможность легко объединять оцениваемые территории в более крупные (например, субъекты Федерации — в федеральные округа) или дробить их на более мелкие (например, оценивать прогно-

зные ресурсы отдельных административных районов в пределах любого субъекта Федерации); при этом, как уже отмечалось в гл. 8, может возникнуть необходимость детализировать гидрогеологическое районирование с выделением районов III и IV порядков (например, межгорные впадины), различающихся между собой значениями модулей прогнозных ресурсов;

- возможность разделить оцениваемые прогнозные ресурсы по качеству подземных вод, выделяя площади в пределах одного и того же гидрогеологического района (подрайона) с одинаковыми значениями модулей прогнозных ресурсов, но с разными значениями минерализации, общей жесткости, содержания различных микрокомпонентов и т. п., и отдельно оценивать прогнозные ресурсы вод различного качества;

- в пределах рассматриваемых административных районов можно оценивать отдельно прогнозные ресурсы отдельных природно-географических зон, резко различающихся между собой по условиям формирования подземных вод и величине модуля прогнозных ресурсов (например, Предволжье и Заволжье в Саратовской области или Черноморское побережье Кавказа и Азово-Кубанская равнина в Краснодарском крае, районы с разными мерзлотными условиями в Иркутской области, Красноярском крае и т. п.);

- возможность легко учитывать изменение конфигурации границ административных территорий, гидрогеологических районов и т. п., а также исключить из подсчета территории, недоступные для освоения (например, особо охраняемые территории);

- проблемы трансграничного разделения ресурсов подземных вод между сопредельными государствами или регионами учитываются автоматически в самой методике подсчета прогнозных ресурсов.

Как любой простой и универсальный метод, данный подход несвободен и от определенных недостатков. Основные из них сводятся к следующему:

- получение достаточно надежных результатов при оценке общей величины прогнозных ресурсов при относительно равномерном рассредоточенном прогнозном водоотборе;

- метод нацелен на оценку общей величины прогнозных ресурсов и не позволяет дать прогноз эксплуатационных запасов отдельных конкретных водозаборов.

3. При наличии крупных централизованных водозаборов, воронки депрессии которых выходят за пределы рассматриваемых административных территорий, наиболее эффективным является метод математического моделирования, позволяющий учесть не только все основные гидрогеологические особенности оцениваемой территории, взаимодействие поверхностных и подземных вод, но также и реальное расположение и величину фактического и прогнозного водоотбора на любом существующем и проектируемом водозаборе.

В последние годы создан ряд таких региональных математических моделей для оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод Московской области («Геоцентр-Москва», «Геолинк», «ГИДЭК»), девонского водоносного комплекса Брянской области («ГИДЭК»), южной части Новосибирской области (ВСЕГИНГЕО) и ряд других. Эти модели можно рассматривать как постоянно действующие, являющиеся эффективным инструментом управления использованием подземных водных ресурсов.

4. При оценке эксплуатационных запасов отдельных централизованных водозаборов для водоснабжения городов и промышленных предприятий используются обычные методы, практикуемые при оценке эксплуатационных запасов подземных вод и охарактеризованные кратко в разд. 8.4.1.

Поскольку в работе по оценке обеспеченности населения (2002 г.) основной задачей было дать оценку общих ресурсов подземных вод страны и всех ее отдельных административных подразделений, для ее решения использовался модульный метод, характеризующий всю площадь России, с одной стороны, а с другой — применен единообразный методологический подход, позволяющий сопоставлять полученные результаты по различным субъектам Федерации.

Итогом работы по оценке прогнозных ресурсов и обеспеченности ими населения стали карта современного состояния подземных вод и условий их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения соответствующего субъекта Федерации и карта обеспеченности населения ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В качестве иллюстрации приводятся фрагменты двух первых карт для платформенной и горно-складчатой областей России (см. цв. вкл., рис. 31 и 32).

На этих картах нашли отражение границы административных и гидрогеологических районов,

значения модулей прогнозных ресурсов, степень защищенности подземных вод, размещение действующих водозаборов и разведанных месторождений, т. е. весь комплекс данных, позволяющих дать оценку прогнозных ресурсов подземных вод и их качества в пределах любой административной территории или ее части, охваченных этой картой.

Очень важно иметь в виду, что распространенной ошибкой является осреднение разнородных областей по значению модуля или качества подземных вод в пределах одной административной единицы. В этом случае может быть получен неправильный вывод, например, об обеспеченности ресурсами подземных вод высокого качества всей территории субъекта Федерации или какого-нибудь его административного района, в то время, когда в одной его части ресурсы подземных вод имеются в избыточном количестве, а в другой наблюдается их явный дефицит. Такая ситуация характерна, например, для Саратовской, Самарской, Оренбургской и ряда других областей.

В таких случаях необходимо зонировать территорию соответствующего административного региона, принимая средние и суммарные характеристики их прогнозных ресурсов и обеспеченности ими населения отдельно для каждой из выделенных зон. Результаты оценок подземных водных ресурсов субъектов Федерации, выполненные с использованием значений модулей прогнозных ресурсов, представлены в следующем разделе.

10.7.2. Использование, качество и динамика во времени

10.7.2.1. Прогнозные эксплуатационные ресурсы

Характеристика подземных водных ресурсов субъектов Федерации дается на основании отчетных материалов работ, выполненных по теме «Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения» по всем субъектам Федерации и обобщенных затем «ГИДЭК» в соответствующем сводном отчете (Язвин, Боровский и др., 2003). Данные об оцененных и утвержденных эксплуатационных запасах подземных вод, а также их водоотборе и использовании, приводятся по материалам государственного учета вод (ГУВ), проводимого соответствующими территориальными организа-

циями по всем субъектам Федерации, обобщаемым потом по РФ в целом Госцентром «Геомониторинг» ФГУП «Гидроспецгеология» и публикуемым в соответствующих ежегодных бюллетенях. В данной работе использованы данные ежегодника за 2005 г. («Информационный бюллетень...»).

Учитывая большое число субъектов Федерации, описание материалов по каждому из них потребовало бы большого объема изложения. Поэтому материалы по субъектам Федерации сгруппированы по федеральным округам.

Поскольку площади отдельных субъектов Федерации и федеральных округов в азиатской и европейской частях России несопоставимы по размерам, сравнение абсолютных величин прогнозных ресурсов по ним недостаточно корректно. Поэтому сопоставление данных выполнено по модулям прогнозных ресурсов.

Распределение прогнозных ресурсов по федеральным округам и субъектам РФ приведено в табл. 10.17.

Ниже дается краткая характеристика распространения прогнозных ресурсов подземных вод по федеральным округам и отдельным субъектам РФ.

Центральный федеральный округ

Прогнозные ресурсы составляют 66 млн м³/сут при среднем модуле 1,17 л/с·км² (максимальная величина для округов РФ). В этом округе расположен крупнейший на территории европейской части России Московский артезианский бассейн, в пределах которого в карбонатных отложениях каменноугольного и девонского возраста формируются крупные месторождения подземных вод. В менее благоприятных условиях находятся северная и восточная части округа (Ярославская, ряд районов Тверской, Ивановской и Костромской областей). Однако и в пределах этих территорий в четвертичных отложениях речных долин могут быть найдены достаточно крупные месторождения. В Московской, Смоленской, Калужской, Белгородской, Воронежской и Курской областях существенную роль может играть эксплуатация инфильтрационных водозаборов.

Фактором, осложняющим использование подземных вод в южной части округа, является разработка железорудных месторождений КМА, сопровождающаяся мощным водоотливом. С другой стороны, при соблюдении определенных условий

дренажные воды могут явиться дополнительным источником водоснабжения, в том числе — и хозяйственно-питьевого.

Северо-Западный федеральный округ

Прогнозные ресурсы составляют более 110 млн м³/сут при среднем модуле 0,77 л/с·км² (табл. 10.17), из которых более 50% приходится на территорию республики Коми, большая часть которой (кроме районов сплошного развития многолетнемерзлых пород) находится в достаточно благоприятных условиях для формирования ресурсов подземных вод, включая возможную эксплуатацию ресурсов береговых водозаборов. Также благоприятные условия отмечаются в центральной части Архангельской области и в отдельных районах Ленинградской области, где водовмещающие породы представлены закарстованными и трещиноватыми известняками и где формируются крупные месторождения подземных вод.

Сложными условиями формирования эксплуатационных ресурсов характеризуются Новгородская, большая часть Ленинградской, западная и юго-западная части Архангельской области, а также ряд районов Вологодской области, где подземные воды отличаются повышенной минерализацией.

Наименее благоприятные условия отмечаются в Республике Карелия и в Мурманской области, расположенных на территории Балтийского бассейна трещинных вод. Несмотря на значительную величину естественных ресурсов (величина питания подземных вод оценивается примерно в 500 млн м³/сут), прогнозные эксплуатационные ресурсы составляют всего порядка 5 млн м³/сут, что связано с весьма невысокими фильтрационными свойствами водовмещающих пород. Сравнительно крупные месторождения подземных вод здесь могут быть встречены только в современных и погребенных речных долинах, а также на участках развития песчаников, характеризующихся более высокой водопроницаемостью. В последние годы в погребенных долинах рек Тулома и Кола вблизи г. Мурманска оценены суммарные прогнозные ресурсы в количестве более 350 тыс. м³/сут, что достаточно для водоснабжения г. Мурманска.

Сложные условия формирования ресурсов подземных вод отмечаются и в северных районах Ненецкого АО, где эксплуатация подземных вод возможна только в таликовых зонах.

Прогнозные ресурсы и эксплуатационные запасы подземных вод по субъектам РФ

№ п/п	Федеральный округ, субъект РФ	Площадь, тыс. км ²	Прогнозные ресурсы по результатам оценки 1998–2000 гг., млн м ³ /сут		Модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов, л/с·км ²		Эксплуатационные запасы подземных вод прошедшие государственную экспертизу (на 01.01.2006 г.), тыс. м ³ /сут	Степень изученности прогнозных эксплуатационных ресурсов, в долях единицы
			всего	в т. ч. береговых водозаборов	без учета береговых водозаборов	с учетом береговых водозаборов		
Российская Федерация		17 077,5	1097,74	144,4	0,65	0,74	91 677,0	0,08
1	Центральный ФО	652,7	67,0	10,3	1,01	1,19	27 036,4	0,40
1	Белгородская обл.	27,1	2,2	1,5	0,3	0,94	1410,1	0,64
2	Брянская обл.	34,9	5,0	0,3	1,56	1,66	1020,7	0,20
3	Владимирская обл.	29	2,3	—	0,92	0,92	1836,4	0,80
4	Воронежская обл.	52,4	3,1	0,9	0,49	0,68	1673,9	0,54
5	Ивановская обл.	23,9	2,7	0,1	1,26	1,31	676,7	0,25
6	Калужская обл.	29,9	4,5	1,6	1,12	1,74	1212,6	0,27
7	Костромская обл.	60,1	2,1	—	0,4	0,4	331,3	0,16
8	Курская обл.	29,8	2,2	1,0	0,47	0,85	1249,7	0,57
9	Липецкая обл.	24,1	1,7	—	0,82	0,82	1444,6	0,85
10	Московская обл.	46,9	9,6	2,6	1,48	2,12	9644,4	1,00
11	и г. Москва (*)							
12	Орловская обл.	24,7	2,6	—	1,22	1,22	722,6	0,28
13	Рязанская обл.	39,6	4,9	—	1,43	1,43	694,9	0,14
14	Смоленская обл.	49,8	8,4	1,5	1,6	1,95	747,9	0,09
15	Тамбовская обл.	34,3	1,9	—	0,64	0,64	1014,6	0,53
16	Тверская обл.	84,1	6,4	—	0,88	0,88	1316,5	0,21
17	Тульская обл.	25,7	3,5	0,1	1,53	1,58	1485,1	0,42
18	Ярославская обл.	36,4	3,9	0,7	1,02	1,24	554,4	0,14
2	Северо-Западный ФО	16 78,2	111,8	26	0,59	0,77	4691,9	0,04
1	Республика Карелия	172,4	2,2	—	0,15	0,15	34,1	0,02
2	Республика Коми	416,6	62,1	20,5	1,16	1,72	1095,7	0,02
3	Архангельская обл.	410,7	15,7	2,4	0,37	0,44	1290,2	0,08
4	Вологодская обл.	145,8	6,9	—	0,55	0,55	135,8	0,02
5	Калининградская обл.	15,1	1,8	0,4	1,07	1,38	526,6	0,29
6	Ленинградская обл.	85,3	5	—	0,68	0,68	1012,9	0,20
7	и г. Санкт-Петербург							
8	Мурманская обл.	144,9	2,6	1,1	0,12	0,21	141,5	0,05
9	Новгородская обл.	55,3	3,7	—	0,77	0,77	86,2	0,02
10	Псковская обл.	55,4	7,2	—	1,5	1,5	254,1	0,04
11	Ненецкий АО	176,7	4,6	1,6	0,2	0,3	114,8	0,02
3	Южный ФО	589,2	38,9	11,7	0,54	0,76	15 690,8	0,40
1	Республика Адыгея	7,6	1,4	0,9	0,76	2,13	282,3	0,20
2	Республика Дагестан	50,3	2,2	0,3	0,44	0,51	1033,4	0,47
3	Ингушская Республика	3,2	0,2	—	0,72	0,72	40,0	0,20
4	Кабардино-Балкарская Республика	12,5	5,1	0,8	3,98	4,72	1413,1	0,28
5	Республика Калмыкия	75,9	1	—	0,15	0,15	112,1	0,11
6	Карачаево-Черкесская Республика	14,1	2,5	2,45	0,04	2,05	793,6	0,32
7	Республика Северная Осетия — Алания	8,0	2,2	0,4	2,60	3,18	1624,7	0,74

№ п/п	Федеральный округ, субъект РФ	Площадь, тыс. км ²	Прогнозные ресурсы по результатам оценки 1998–2000 гг., млн м ³ /сут		Модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов, л/с · км ²		Эксплуатационные запасы подземных вод, прошедшие государственную экспертизу (на 01.01.2006 г.), тыс. м ³ /сут	Степень изученности прогнозных эксплуатационных ресурсов, в долях единицы
			всего	в т. ч. береговых водозаборов	без учета береговых водозаборов	с учетом береговых водозаборов		
8	Чеченская Республика	16,1	2,2	—	1,58	1,58	1248,7	0,57
9	Краснодарский край	76,0	10,3	3,5	1,04	1,57	4451,7	0,43
10	Ставропольский край	66,5	3,3	0,9	0,42	0,57	1800,2	0,55
11	Астраханская обл.	44,1	2,3	1,8	0,13	0,6	92,6	0,04
12	Волгоградская обл.	114,1	4,4	0,4	0,41	0,45	1523	0,35
13	Ростовская обл.	100,8	1,8	0,2	0,18	0,21	1275,4	0,71
4	Приволжский ФО	1037,8	97,1	20,4	0,86	1,08	16026,2	0,17
1	Республика Башкортостан	143,6	9,2	2,6	0,53	0,74	2571,7	0,28
2	Республика Марий-Эл	23,2	4,0	1,9	1,05	2,0	499	0,12
3	Республика Мордовия	26,2	2,4	—	1,06	1,06	426,1	0,18
4	Республика Татарстан	68	5,9	—	1,0	1,0	966,5	0,16
5	Удмуртская Республика	42,1	2,9	—	0,8	0,8	154,6	0,05
6	Чувашская Республика	18,3	1,8	1,2	0,38	1,14	413,4	0,23
7	Кировская обл.	120,8	10,2	3,0	0,69	0,98	409,6	0,04
8	Нижегородская обл.	76,7	8,4	2,3	0,92	1,27	2658,6	0,32
9	Оренбургская обл.	124	6,1	1,6	0,42	0,57	1982,9	0,33
10	Пензенская обл.	43,2	8,8	1,1	2,06	2,36	408,2	0,05
11	Пермская обл.	127,7	12,8	—	1,16	1,16	1077,6	0,07
12	Коми-Пермяцкий АО	32,9	2,4	—	0,84	0,84		
13	Самарская обл.	53,6	8,8	4,2	1	1,9	2684,6	0,31
14	Саратовская обл.	100,2	11,4	1,8	1,11	1,32	1078,7	0,09
15	Ульяновская обл.	37,3	2,0	0,7	0,4	0,62	694,7	0,35
5	Уральский ФО	1788,9	175,6	0,45	1,13	1,14	5783,6	0,03
1	Курганская обл.	71,0	1,8	—	0,29	0,29	191,7	0,11
2	Свердловская обл.	194,8	19,6	—	1,16	1,16	1464,1	0,07
3	Тюменская обл.	161,8	6,0	—	0,43	0,43	753,3	0,13
4	Челябинская обл.	87,9	5,0	0,45	0,01	0,66	1121,7	0,22
5	Ханты-Мансийский АО	523,1	107,8	—	2,38	2,38	1446,4	0,01
6	Ямало-Ненецкий АО	750,3	35,4	—	0,6	0,6	806,4	0,02
6	Сибирский ФО	5114,8	358,3	59,4	0,68	0,81	15371,4	0,04
1	Республика Алтай	92,6	7,5	—	0,94	0,94	222,6	0,03
2	Республика Бурятия	351,3	81,7	20,0	2,03	2,69	1271,6	0,02
3	Республика Тыва	170,5	21,3	2,3	1,29	1,45	106,1	0,00
4	Республика Хакасия	61,9	15,1	9,0	1,14	2,82	392,9	0,03
5	Алтайский край	169,1	11,7	1,7	0,68	0,80	2329,9	0,20
6	Красноярский край	71,0	82,6	9,0	1,20	1,35	1695,4	0,02
7	Иркутская обл.	745,5	53,1	13,6	0,61	0,82	2229,8	0,04
8	Усть-Ордынский Бурятский АО	22,4	2,0	0,8	0,62	1,03		
9	Кемеровская обл.	95,5	7,6	0,7	0,84	0,92	1713,2	0,23
10	Новосибирская обл.	178,2	5,2	0,6	0,30	0,34	1702,8	0,33
11	Омская обл.	139,7	3,4	0,5	0,24	0,28	498,4	0,15
12	Томская обл.	316,9	38,7	—	1,41	1,41	1197,3	0,03

№ п/п	Федеральный округ, субъект РФ	Площадь, тыс. км ²	Прогнозные ресурсы по результатам оценки 1998–2000 гг., млн м ³ /сут		Модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов, л/с·км ²		Эксплуатационные запасы подземных вод, прошедшие государственную экспертизу (на 01.01.2006 г.), тыс. м ³ /сут	Степень изученности прогнозных эксплуатационных ресурсов, в долях единицы
			всего	в т. ч. береговых водозаборов	без учета береговых водозаборов	с учетом береговых водозаборов		
13	Читинская обл.	412,5	9,2	1,1	0,23	0,26	1760,7	0,18
14	Агинский Бурятский АО	19,0	0,5	0,1	0,24	0,30		
15	Таймырский АО	862,1	0,9	—			236,3	
16	Эвенкийский АО	767,6	17,8	—	0,27	0,27	14,4	
7	Дальневосточный	6215,9	249,0	16,2	0,43	0,46	7076,7	0,03
1	Республика Саха (Якутия)	3103,2	68,0	—	0,25	0,25	489,5	0,01
2	Приморский край	165,9	2,7	0,9	0,13	0,19	1509,1	0,56
3	Хабаровский край	788,6	49,8	1,6	0,71	0,73	1844,2	0,04
4	Амурская обл.	363,7	21,2	1,3	0,63	0,67	665,6	0,03
5	Камчатская обл.	170,8	21,5	12,3	0,62	1,46	585,8	0,03
6	Магаданская обл.	461,4	39,0	—	0,98	0,98	631,4	0,02
7	Сахалинская обл.	87,1	33,0	—	4,38	4,38	459,4	0,01
8	Еврейская АО	36,0	5,0	0,1	1,57	1,61	701,3	0,14
9	Корякский АО	301,5	7,4	—	0,28	0,28	16,4	0,00
10	Чукотский АО	737,7	1,4	—	0,02	0,02	174	0,12

Южный федеральный округ

Территория Южного федерального округа характеризуется весьма разнообразными условиями формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод. Прогнозные ресурсы этого округа оценены в количестве около 40 млн м³/сут, при среднем модуле 0,76 л/с·км². Здесь, наряду с районами, обладающими весьма значительными прогнозными ресурсами, отмечается наличие территорий с весьма ограниченными ресурсами подземных вод. Наиболее высокими значениями модулей прогнозных ресурсов характеризуются Республики Кабардино-Балкарская и Северная Осетия — Алания, где в предгорных равнинах и межгорных впадинах формируются крупные месторождения подземных вод. Благоприятные условия отмечаются также в пределах Азово-Кубанского артезианского бассейна (Краснодарский край, Республика Адыгея), Восточно-Предкавказского бассейна (восточная часть Ставропольского края, западная часть Дагестана), а также в долинах рек Черноморского побережья Кавказа (Краснодарский край). Неблагоприятными условиями формирования эксплуатационных ресурсов характеризуются Ростовская область, западная и центральная части Ставропольского края, восточный Дагестан. Наименее благоприятными условиями характеризуются Республика Калмыкия

и Астраханская область, где на большей части территории развиты солоноватые воды с минерализацией более 3 г/дм³. В Астраханской области и Республике Карачаево-Черкессия практически почти все прогнозные ресурсы пресных подземных вод связаны с привлечением поверхностного стока при эксплуатации инфильтрационных водозаборов.

Приволжский федеральный округ

Прогнозные ресурсы подземных вод этого округа составляют около 100 млн м³/сут при среднем модуле прогнозных ресурсов — 1,07 л/с·км². Около 20% от подсчитанных прогнозных ресурсов приходится на инфильтрационные водозаборы в Самарской, Саратовской, Кировской, Нижегородской и Оренбургской областях и Республике Башкортостан.

Большая часть округа расположена в пределах Восточно-Русского артезианского бассейна, где основные водоносные горизонты на значительных площадях характеризуются слабой водообильностью либо повышенной минерализацией подземных вод. Вместе с тем отдельные районы рассматриваемой территории имеют более благоприятные условия формирования ресурсов подземных вод (междуречье рек Теша и Мокша в Нижегородской области, Мордовский артезианский бассейн, па-

леодолины рек Кама и Волга в Республиках Татарстан, Марий-Эл и др.).

Уральский федеральный округ

Этот округ также характеризуется сложными и весьма неоднородными условиями формирования прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод, общая величина которых составляет около 175 млн м³/сут при среднем модуле 1,13 л/с · км². Наиболее благоприятными условиями характеризуются Ханты-Мансийский и южная и центральная части Ямало-Ненецкого автономных округов (ЯНАО), расположенные в центральной и северной частях Западно-Сибирского артезианского бассейна. В южной части этого бассейна (южные районы Тюменской области, большая часть Курганской области) развиты воды с повышенной минерализацией. В пределах Уральской гидрогеологической зоны (Свердловская и Челябинская области) большое значение имеют подземные воды ограниченных структур в межгорных депрессиях, представленных трещиноватыми и закарстованными известняками, особенно при наличии в пределах этих структур поверхностного стока.

В то же время северная часть ЯНАО (особенно в пределах полуострова Ямал) и ряд районов горноскладчатого Урала (особенно юг Челябинской области) характеризуются дефицитом прогнозных ресурсов подземных вод.

Сибирский федеральный округ

В Сибирском федеральном округе формируются крупные прогнозны ресурсы подземных вод, общая величина которых составляет более 350 млн м³/сут при среднем модуле 0,85 л/с · км². Столь существенная величина ресурсов в первую очередь определяется его огромной площадью. В то же время распределение эксплуатационных ресурсов по территории субъектов федерального округа достаточно неравномерное. Наилучшими условиями формирования ресурсов пресных подземных вод характеризуются, главным образом, Томская и Иркутская области, Республика Бурятия и центральные и южные части Красноярского края.

Большая часть территории Восточной Сибири находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых на севере достигает 600 и более метров. В этой зоне пресные подземные воды могут быть связаны только

с подрусловыми и сквозными таликами. При этом величина эксплуатационных запасов в отдельных таликах может достигать десятков тысяч м³/сут (Талнахское и Егорлакское месторождения в районе г. Норильск).

В пределах территорий Иркутской области, Красноярского края, республик Бурятия и Хакасия существенную роль играют прогнозны эксплуатационные ресурсы, соответствующие расходам береговых (инфильтрационных) водозаборов, а в северных районах — ресурсам водозаборов в таликовых зонах погребенных долин, в которых в межженные периоды происходит сработка емкостных запасов подземных вод с последующим их восполнением в паводок.

Дальневосточный федеральный округ

Прогнозные ресурсы Дальневосточного федерального округа оценены в количестве 250 млн м³/сут при среднем модуле 0,46 л/с · км², что является минимальной величиной для России в целом. Как и для Восточной Сибири, столь низкие величины модуля связаны с огромными площадями распространения многолетнемерзлых пород.

Наиболее благоприятными условиями формирования эксплуатационных ресурсов на территории рассматриваемого округа характеризуются Сахалинская и Камчатская области, Еврейская автономная область, южные районы Хабаровского и Приморского краев, а также Амурской области. В наименее благоприятных условиях находятся Республика Саха (Якутия), Магаданская область и Чукотский АО. Причем на северо-востоке страны таликовых зон в бассейне Северного Ледовитого океана значительно меньше, чем в бассейне морей Тихого океана, что определяет существенное различие величин прогнозных ресурсов в этих бассейнах.

10.7.2.2. Эксплуатационные запасы

Согласно действующему законодательству о недрах, возможность и целесообразность использования подземных вод может быть определена только на основании данных об их эксплуатационных запасах. Российская Федерация обладает значительными эксплуатационными запасами пресных и слабосоленоватых подземных вод, величина которых составляет около 91,7 млн м³/сут.

На территории России разведано более 5400 месторождений и участков месторождений питьевых

и технических подземных вод. Большинство месторождений подземных вод (порядка 70%) — это небольшие месторождения с эксплуатационными запасами, не превышающими 10 тыс. м³/сут. В то же время разведано более 150 крупных месторождений с запасами, превышающими 100 тыс. м³/сут. Наибольшее их количество разведано в Московской, Нижегородской, Иркутской, Тверской, Воронежской и Новосибирской областях, Краснодарском крае, Республиках Башкортостан и Бурятия, Ханты-Мансийском автономном округе.

Величины эксплуатационных запасов подземных вод существенно различаются по административно-территориальным областям России (табл. 10.17). Из федеральных округов наибольшим значением ЭЗПВ характеризуется Центральный (27,0 млн м³/сут), наименьшим — Северо-Западный (4,7 млн м³/сут).

Среди субъектов РФ наибольшие эксплуатационные запасы подземных вод оценены в Московской области (9,6 млн м³/сут), Краснодарском крае (4,5 млн м³/сут), а также в Самарской, Нижегородской, Иркутской областях, Алтайском крае и Республике Башкортостан (от 2,2 до 2,7 млн м³/сут). Меньше всего (менее 100 тыс. м³/сут) разведаны запасы на территориях Новгородской и Астраханской областей, в Республиках Карелия, Ингушетия и Тыва, Эвенкийского и Корякского автономных округов.

В табл. 10.17 приведены данные, характеризующие степень изученности прогнозных ресурсов, определяемую как отношение оцененных эксплуатационных запасов к прогнозным ресурсам подземных вод. В европейской части России эксплуатационные запасы составляют 20% от подсчитанных прогнозных ресурсов, в азиатской — 4%. Наиболее высокой изученностью характеризуются Центральный и Южный федеральные округа (40%), а из субъектов РФ — Московская область, Липецкая (85%) и Владимирская (80%) области, Республика Северная Осетия — Алания (74%) и Ростовская область (71%).

10.7.2.3. Водоотбор и использование

Как указано в разд. 8.9, в 2005 г. общий водоотбор из подземных водных объектов составил 30,4 млн м³/сут, в том числе 4,8 млн м³/сут — водоотлив и дренаж. Данные, характеризующие отбор и использование подземных вод по федеральным округам Российской Федерации, приведены в табл. 10.18.

По федеральным округам наибольшее количество подземных вод отбирается в Центральном округе (9,4 млн м³/сут), наименьшее — в Дальневосточном (1,5 млн м³/сут). Наибольшим отбором среди субъектов РФ характеризуются Московская область и г. Москва (более 3 млн м³/сут). Превышает 1 млн м³/сут отбор в Краснодарском и Красноярском краях, Республике Башкортостан, Свердловской и Кемеровской областях.

Наиболее крупные водоотливы зафиксированы на территории Сибирского и Уральского федеральных округов (соответственно, 1,7 и 1,0 млн м³/сут), а по субъектам РФ — в Свердловской, Кемеровской (по 0,8), Мурманской (более 0,4), Белгородской (более 0,3) областях, Республике Бурятия — 0,3 млн м³/сут.

Максимальное водопотребление подземных вод отмечается в Центральном округе (8,8 млн м³/сут), наименьшее — в Северо-Западном и Дальневосточном (по 1,0 млн м³/сут). По субъектам РФ наибольшее водопотребление (в млн м³/сут) отмечается в Московской области — 2,8, Краснодарском крае — 1,3 и Республике Башкортостан — 1,0.

Основной целью использования подземных вод на территории России являются **хозяйственно-питьевые нужды (ХПВ)**. Общее количество составляет 18,4 млн м³/сут и изменяется от 0,7 млн м³/сут в Северо-Западном до 6,8 млн м³/сут в Центральном ФО.

По объему водопотребления на ХПВ субъекты РФ распределяются следующим образом: более 500 млн м³/сут подземных вод используется в 6 субъектах РФ (Московская — 2,4; Воронежская — 0,8; Тульская — 0,5 области; Краснодарский — 1,0; Красноярский — 0,7 края; Республика Башкортостан — 0,66); от 250 до 500 тыс. м³/сут — 17 субъектах РФ (Белгородская, Владимирская, Курская, Липецкая, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Нижегородская, Оренбургская, Самарская, Свердловская, Кемеровская, Новосибирская области, Алтайский край, Республика Северная Осетия-Алания, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа); менее 250 тыс. м³/сут — в 55 субъектах РФ, в том числе в 35 из них — до 100 тыс. м³/сут. Слабо используются подземные воды для ХПВ в 17 субъектах РФ, в каждом из которых потребляется менее 50 тыс. м³/сут.

В среднем по России использование подземных вод на ХПВ на одного человека составляет 127 л/сут и изменяется по федеральным округам от 49 л/сут в Северо-Западном ФО до 182 л/сут в Центральном ФО.

Эксплуатационные запасы, водоотбор и использование подземных вод по субъектам РФ на 01.01.2006 г. (по данным государственного мониторинга состояния недр)

№ п/п	Федеральные округа / субъекты Российской Федерации	Эксплуатационные запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут	Добыча и извлечение, тыс. м ³ /сут			Степень освоения запасов, %	Использование подземных вод, тыс. м ³ /сут				Потери и сброс вод без использования, тыс. м ³ /сут	
			всего	в т. ч.	на участках с разведанными запасами		дренаж, водоотлив	всего	по типам			
									ХПВ	ПТВ		ОРЗ+ОП
Российская Федерация		91 677,0	30 429,0	15 100,7	4 777,9	16,5	24 499,6	18 354,3	5 508,7	636,6	5 929,4	
1	Центральный	27 036,4	9 380,3	5 679,9	5 819,9	21,0	8 764,7	6 810,1	1 909,8	44,8	615,6	
1.1	Белгородская обл.	1 410,1	754,8	562,2	303,1	39,9	632,9	341,5	291,4	—	121,9	
1.2	Брянская обл.	1 020,7	276,7	203,4	—	19,9	276,7	236,8	39,9	—	—	
1.3	Владимирская обл.	1 836,4	418,4	281,3	—	15,3	390,9	315,0	60,3	15,6	27,5	
1.4	Воронежская обл.	1 673,9	859,3	482,7	21,0	28,8	842,8	770,6	72,2	—	16,5	
1.5	Ивановская обл.	676,7	153,5	76,9	—	11,4	153,5	81,5	72,0	—	—	
1.6	Калужская обл.	1 212,6	290,3	197,1	—	16,3	273,1	201,7	71,4	—	17,2	
1.7	Костромская обл.	331,3	74,0	27,8	—	8,4	73,7	38,9	34,8	—	0,3	
1.8	Курская обл.	1 249,7	415,1	268,2	52,1	21,5	396,5	277,5	112,2	6,8	18,6	
1.9	Липецкая обл.	1 444,6	502,3	395,9	41,1	27,4	475,7	282,5	191,5	1,7	26,6	
1.10	Московская обл.	9 644,4	3 054,6	1 896,4	—	19,7	2 829,9	2 445,4	384,4	0,1	—	
1.11	г. Москва				95,0		1 29,7	63,4	65,8	0,5	95,0	
1.12	Орловская обл.	722,6	251,1	159,5	—	22,1	230,1	187,3	42,8	—	21,0	
1.13	Рязанская обл.	694,9	338,1	78,1	63,0	11,2	245,9	156,6	73,8	15,5	92,2	
1.14	Смоленская обл.	747,9	352,9	188,5	—	25,2	304,9	265,0	39,9	—	48,0	
1.15	Тамбовская обл.	1 014,6	421,4	217,4	—	21,4	408,8	294,9	110,2	3,7	12,6	
1.16	Тверская обл.	1 316,5	387,7	195,0	—	14,8	374,7	255,6	118,2	0,9	13,0	
1.17	Тульская обл.	1 485,1	744,9	426,6	6,6	28,7	640,0	517,3	122,7	—	104,9	
1.18	Ярославская обл.	554,4	85,2	22,9	—	4,1	84,9	78,6	6,3	—	0,3	
2	Северо-Западный	4 691,9	1 830,2	594,3	819,3	12,7	953,9	674,1	279,8	—	876,3	
2.1	Республика Карелия	34,1	25,8	2,2	18,9	6,5	5,8	5,1	0,7	—	20,0	
2.2	Республика Коми	1 095,7	270,4	94,4	138,2	8,6	181,7	115,3	66,4	—	88,7	
2.3	Архангельская обл.	1 290,2	127,8	49,6	46,7	3,8	64,4	51,2	13,2	—	63,4	
2.4	Вологодская обл.	135,8	153,0	12,8	44,4	9,4	63,0	39,4	23,6	—	90,0	
2.5	Калининградская обл.	526,6	157,5	95,2	23,0	18,1	134,5	102,6	31,9	—	23,0	
2.6	Ленинградская обл.	1 012,9	426,1	189,0	124,1	18,7	213,3	161,4	51,9	—	130,7	
2.7	г. Санкт-Петербург				—		81,2	76,3	4,9	—	0,9	
2.8	Мурманская обл.	141,5	444,5	78,7	408,6	55,6	57,8	16,2	41,6	—	386,7	
2.9	Новгородская обл.	86,2	81,5	17,0	5,3	19,7	49,1	37,0	12,2	—	32,4	
2.10	Псковская обл.	254,1	128,8	43,5	9,0	17,1	89,3	64,9	24,3	—	39,5	
2.11	Ненецкий АО	114,8	14,8	11,9	1,1	10,4	13,8	4,7	9,1	—	1,0	
3	Южный	15 690,8	4 098,8	2 043,4	136,2	13,0	3 251,5	2 545,6	666,3	39,6	847,3	
3.1	Республика Адыгея	282,3	141,2	117,6	—	41,7	122,6	98,0	24,5	0,1	18,6	
3.2	Республика Дагестан	1 033,4	414,8	88,0	—	8,5	207,0	173,1	3,8	30,1	207,8	
3.3	Ингушская Республика	40,0	43,0	21,8	—	54,5	39,2	33,4	5,8	—	3,8	
3.4	Кабардино-Балкарская Республика	1 413,1	265,5	104,8	—	7,4	226,1	211,0	15,1	—	39,4	
3.5	Республика Калмыкия	112,1	30,8	23,9	—	21,3	29,3	24,9	4,4	—	1,5	

№ п/п	Федеральные округа / субъекты Российской Федерации	Эксплуатационные запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут	Добыча и извлечение, тыс. м ³ /сут			Степень освоения запасов, %	Использование подземных вод, тыс. м ³ /сут				Потери и сброс вод без использования, тыс. м ³ /сут
			всего	в т. ч.	на участках с разведанными запасами		дренаж, водоотлив	всего	по типам		
		ХПВ							ПТВ	ОРЗ+ОП	
3.6	Карачаево-Черкесская Республика	793,6	18,0	7,2	—	0,9	11,0	4,6	6,0	0,4	0,3
3.7	Республика Северная Осетия — Алания	1624,7	512,1	275,3	—	16,9	432,3	279,7	149,1	3,5	79,8
3.8	Чеченская республика	1248,7	221,4	103,2	—	8,3	198,4	176,6	21,8	—	23,0
3.9	Краснодарский край	4451,7	1530,2	1036,9	—	23,3	1261,6	978,6	282,0	1,0	268,6
3.10	Ставропольский край	1800,2	201,0	111,7	—	6,2	183,6	153,8	28,5	1,3	24,1
3.11	Астраханская обл.	92,6	0,6	0,1	—	0,1	0,6	0,5	0,1	—	—
3.12	Волгоградская обл.	1523	281,9	46,4	14,9	3,0	264,4	244,9	17,4	2,1	17,5
3.13	Ростовская обл.	1275,4	438,3	106,5	121,3	8,4	275,4	166,5	107,8	1,1	162,9
4	Приволжский	16 026,2	5412,7	2282,4	256,7	14,2	4844,5	3461,3	1243,3	139,9	568,2
4.1	Республика Башкортостан	2571,7	1093,1	557,4	22,2	21,7	1044,9	658,3	300,1	86,5	48,2
4.2	Республика Марий Эл	499	255,7	83,8	84	16,8	166,7	133	22,8	10,9	89,0
4.3	Республика Мордовия	426,1	203	136,2	—	32,0	194,0	141,8	50,7	1,5	9,0
4.4	Республика Татарстан	966,5	570,7	73,7	20,0	7,6	521,3	358,3	146,0	17,0	49,4
4.5	Удмуртская Республика	154,6	154,2	41,5	—	26,8	150,5	108,4	42,1	—	3,7
4.6	Чувашская Республика	413,4	91	24,9	—	6,0	87,1	63,4	23,3	0,4	3,9
4.7	Кировская обл.	409,6	136,6	67,8	—	16,6	135,3	95,9	28,4	11,0	1,3
4.8	Нижегородская обл.	2658,6	626,6	232,3	14,2	8,7	533,5	461,8	70,7	1,0	93,1
4.9	Оренбургская обл.	1982,9	601,5	349,4	22,5	17,6	578,8	459,6	109,0	10,2	22,7
4.10	Пензенская обл.	408,2	119,7	37,6	—	9,2	115,0	89,8	24,8	0,4	4,7
4.11	Пермская обл. и Коми-Пермяцкий АО	1077,6	378,8	201,5	3,6	18,7	283,6	210,8	72,8	—	95,2
4.12	Самарская обл.	2684,6	737,8	369,9	—	13,8	665,5	419,7	245,3	0,5	72,3
4.13	Саратовская обл.	1078,7	149	20,8	—	1,9	146,0	118,1	27,4	0,5	3,0
4.14	Ульяновская обл.	694,7	295,0	85,6	90,2	12,3	222,3	142,4	79,9	—	72,7
5	Уральский	5783,6	2835,6	1540,4	971,0	26,6	1835,4	1544,5	289,3	1,6	1000,2
5.1	Курганская обл.	191,7	46,8	12,4	1,4	6,5	45,4	37,3	8,1	—	1,4
5.2	Свердловская обл.	1464,1	1282,9	600,7	792,2	41,0	559,4	482,6	75,5	1,3	723,5
5.3	Тюменская обл.	753,3	202,7	112,1	—	14,9	141,6	123,4	18,2	—	61,1
5.4	Челябинская обл.	1121,7	689,9	297,8	177,4	26,5	475,7	400,2	75,2	0,3	214,2
5.5	Ханты-Мансийский АО	1446,4	427,8	360,6	—	24,9	427,8	356,8	71	—	—
5.6	Ямало-Ненецкий АО	806,4	185,5	156,8	—	19,4	185,5	144,2	41,3	—	—
6	Сибирский	15 371,4	5418,0	2215,4	1678,7	14,4	3834,0	2616,4	807,4	410,2	1584,0
6.1	Республика Алтай	222,6	22,8	6,8	3,6	3,1	18,3	14,2	3,6	0,5	4,5
6.2	Республика Бурятия	1271,6	553,0	136,2	322,7	10,7	210,2	129,2	41,0	40,0	342,8
6.3	Республика Тыва	106,1	49,1	31,6	—	29,8	45,3	17,2	25,9	2,2	3,8
6.4	Республика Хакасия	392,9	333,9	118,5	173,8	30,2	200,6	132,1	68,5	—	185,5
6.5	Алтайский край	2329,9	673,8	200,5	1,2	8,6	672,7	322,6	108,6	241,5	1,1
6.6	Красноярский край	1695,4	1033,4	669,2	110,5	39,5	842,0	667,6	94,7	79,7	139,2

№ п/п	Федеральные округа / субъекты Российской Федерации	Эксплуатационные запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут	Добыча и извлечение, тыс. м ³ /сут			Степень освоения запасов, %	Использование подземных вод, тыс. м ³ /сут				Потери и сброс вод без использования, тыс. м ³ /сут
			всего	в т. ч.			всего	по типам			
				на участках с разведанными запасами	дренаж, водоотлив			ХПВ	ПТВ	ОРЗ+ОП	
6.7	Иркутская обл. и Усть-Ордынский Бурятский АО	2229,8	332,5	123,4	111,2	5,5	244,7	181,5	63,2	—	87,8
6.8	Кемеровская обл.	1713,2	1060,4	207,3	771,4	12,1	493,8	328,8	165,0	—	566,6
6.9	Новосибирская обл.	1702,8	389,6	70,9	—	4,2	383,4	333,5	35,8	14,1	6,2
6.10	Омская обл.	498,4	52,8	6,2	—	1,2	51,2	19,5	7,9	23,8	1,6
6.11	Томская обл.	1197,3	385,7	281,8	—	23,5	288,1	199,0	81,6	7,5	97,6
6.12	Читинская обл.	1760,7	423,3	288,5	152,4	16,4	287,3	195,8	90,6	0,9	136,0
6.13	Агинский Бурятский АО										
6.14	Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	236,3	106,4	74,5	31,9	31,5	95,1	74,5	20,6	—	11,3
6.15	Эвенкийский АО	14,4	1,3	—	—	—	1,3	0,9	0,4	—	—
7	Дальневосточный	7076,7	1453,4	744,9	334,1	10,5	1015,6	702,3	312,8	0,5	437,8
7.1	Республика Саха (Якутия)	489,5	163,7	57,3	60,2	11,7	107,3	84,4	22,9	—	56,4
7.2	Приморский край	1509,1	289,4	101,4	69,5	6,7	166,3	121,3	45,0	—	123,1
7.3	Хабаровский край	1844,2	262,3	176,7	73,6	9,6	191,7	110,2	81,5	—	70,6
7.4	Амурская обл.	665,6	282,2	105,9	122,9	15,9	149,2	115,1	34,1	—	133,0
7.5	Камчатская обл.	585,8	155,9	121,9	—	20,8	155,9	132,7	22,8	0,4	—
7.6	Магаданская обл.	631,4	55,4	38,4	—	6,1	53,9	16,8	37,1	—	1,5
7.7	Сахалинская обл.	459,4	168,3	104,8	4,4	22,8	123,7	69,3	54,4	—	44,6
7.8	Еврейская АО	701,3	61,2	30,8	2,9	4,4	56,0	44,0	12,0	—	5,2
7.9	Корякский АО	16,4	6,2	2,3	—	14,0	6,2	4,4	1,7	0,1	—
7.10	Чукотский АО	174	8,8	5,4	0,6	3,1	5,4	4,1	1,3	—	3,4

В настоящее время доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет 43%. При этом для городов и крупных населенных пунктов этот показатель равен 40%, для сельской местности — 83%.

Для производственно-технического водоснабжения (ПТВ) в РФ используется 5,5 млн м³/сут подземных вод. Больше всего используется подземной воды на ПТВ (в млн м³/сут) в Центральном (1,9), Приволжском (1,2) и Сибирском (0,8) федеральных округах. В 32 субъектах РФ на эти цели используется от 25 до 47% водоотбора и только в 6 (Мурманская, Ярославская, Магаданская области, Ненецкий АО, Республики Карачаево-Черкесская и Тыва) на эти цели используется 50–72% от общей добычи, что превышает величины водопотребления на ХПВ.

На орошение земель (ОРЗ) и обводнение пастбищ (ОП) большое количество подземных вод расходуется в Сибирском ФО — 410 тыс. м³/сут или 64,4% от общего объема воды, используемого на эти цели по Российской Федерации. Наибольшее потребление подземных вод на орошение отмечается (в тыс. м³/сут) в Алтайском — 240 (38%) и Красноярском — 80 (12,6%) краях; Республиках Башкортостан — 86 (13,7%), Бурятия — 40 (6,3%), Дагестан — 30 (4,8%); в Омской — 14, Владимирской и Рязанской областях — по 15 и Республике Татарстан — 17. В остальных 29 субъектах РФ на орошение земель приходится менее 15 тыс. м³/сут.

Незначительное количество подземных вод на обводнение пастбищ расходуется в Алтайском крае — 1 тыс. м³/сут и Республике Тыва — 2 тыс. м³/сут.

Структуру водоснабжения крупных городов и перспективы расширения использования подземных вод для их хозяйственно-питьевого водоснабжения рассмотрим на примере наиболее крупных 37 городов с населением более 500 тыс. человек (табл. 10.19).

В данной таблице приведено соотношение использования подземных и поверхностных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения этих городов. Из таблицы видно, что из 37 перечисленных городов только в пяти (Воронеж, Липецк, Тула, Краснодар и Красноярск) хозяйственно-питьевое водоснабжение полностью базируется на подземных водах. Заметим, что в Красноярске водоснабжение осуществляется на базе неутвержденных эксплуатационных запасов.

Водоснабжение 19 городов (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург, Нижний Новгород, Омск, Челябинск, Ростов-на-Дону, Волгоград, Пермь, Саратов, Ижевск, Ярославль, Иркутск, Хабаровск, Пенза, Набережные Челны, Астрахань, Киров) практически полностью базируется на поверхностных водах, или же использование в них подземных вод производится в небольших объемах и реализуется, в основном, автономными водозаборами промышленных предприятий. К этой группе могут быть отнесены города Самара, Казань и Владивосток, где доля использования поверхностных вод составляет несколько меньше 90%. Так, в Самаре, где объем использования подземных вод достаточно большой, только незначительная их часть направлена на хозяйственно-питьевое водоснабжение населения (Засамарское месторождение), остальной водоотбор предназначен для нужд промышленных предприятий. Вышесказанное относится и к г. Казань, где, несмотря на значительную долю использования подземных вод, они имеют либо неудовлетворительное качество, либо используются для водоснабжения промпредприятий.

Водоснабжение 10 городов (Уфа, Тольятти, Барнаул, Ульяновск, Новокузнецк, Оренбург, Тюмень, Махачкала, Кемерово, Рязань) основано на смешанных источниках, доля подземных вод составляет от 12 до 85%.

Рассмотрим далее перспективы ресурсной базы подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения этих городов в сопоставлении с существующим водопотреблением.

Помимо пяти перечисленных городов, водоснабжение которых базируется на подземных водах,

разведанными и оцененными запасами подземных вод (перекрывающими существующее водопотребление) обеспечена потребность следующих 19 городов: Новосибирск, Нижний Новгород, Самара, Казань, Уфа, Саратов, Тольятти, Барнаул, Ульяновск, Владивосток, Ярославль, Хабаровск, Новокузнецк, Оренбург, Тюмень, Махачкала, Кемерово, Рязань, Киров.

Существенную долю в общем балансе водопотребления подземные воды могут иметь в водоснабжении городов Москва, Волгоград, Омск, Новосибирск, Иркутск, Пенза (6 городов).

И только 7 городов: Санкт-Петербург, Набережные Челны, Ростов-на-Дону, Пермь, Екатеринбург, Челябинск, Ижевск не имеют существенной ресурсной базы для преобладающего использования подземных вод в общем балансе водопотребления. Здесь возможны только поиски и освоение небольших участков для резервного водоснабжения населения в чрезвычайных ситуациях.

В остальных случаях имеется достаточная ресурсная база для использования подземных вод или значительные перспективы ее расширения. Например, в 2007 г. завершены работы по подсчету запасов вновь открытого месторождения подземных вод Песковатое для водоснабжения г. Волгоград с эксплуатационными запасами 250 тыс. м³/сут, начато освоение Тунгусского месторождения для водоснабжения г. Хабаровск, расширяется освоение Засамарского месторождения для водоснабжения г. Самара.

Тем не менее, представляется, что еще долгие годы в водоснабжении крупных городов будут совместно использоваться поверхностные и подземные воды, за исключением перечисленных городов, где подземные воды могут быть использованы только для резервного водоснабжения в чрезвычайных ситуациях.

Таким же образом могут быть рассмотрены условия водоснабжения за счет подземных вод и других крупных городов с населением более 100 тыс. человек.

10.7.2.4. Характеристика качества подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения

К сожалению, специальных работ по характеристике качества прогнозных ресурсов подземных вод отдельных субъектов Федерации не проводилось, и сводные материалы для их сравнения от-

Условия хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных городов РФ

№ п/п	Город	Субъект РФ	Население, тыс. чел. на 2003г.	Использование воды для ХПВ, тыс. м ³ /сут			Утвержденные запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут
				всего	в том числе:		
					поверхностных	подземных	
1	Москва	Москва	10382754	4554,7	4437,1	115,8	436,1
2	Санкт-Петербург	Санкт-Петербург	4661219	1501,6	1471,1	30,4	100,4
3	Новосибирск	Новосибирская обл.	1425508	528,1	498,8	29,3 (**)	603,8
4	Екатеринбург	Свердловская обл.	1340465	605,1	592,9	12,1	12,2
5	Нижний Новгород	Нижегородская обл.	1319644	570,1	569,4	0,7	787,0
6	Самара	Самарская обл.	1176428	366,5	322,3	44,2	540,0
7	Омск	Омская обл.	1156849	416,3	415,9	0,4	—
8	Казань	Республика Татарстан	1105306	276,8	241,1	35,7	600
9	Челябинск	Челябинская обл.	1104648	381,3	369,0	12,3	24,1
10	Ростов-на-Дону	Ростовская обл.	1068267	261,1	261,1	—	—
11	Уфа	Республика Башкортостан	1049479	408,4	162,0	246,4	1090,4
12	Волгоград	Волгоградская обл.	1044356	360,2	357,3	2,8	13,4
13	Пермь	Пермская обл.	1010947	328,9	322,9	6,0	15,7
14	Воронеж	Воронежская обл.	928410	449,5	—	449,5	1103,8
15	Красноярск	Красноярский край	909341	508,1	15,4	492,7	—
16	Саратов	Саратовская обл.	873055	354,0	352,8	1,2	394,4
17	Краснодар	Краснодарский край	791354	311,7	11,6	300,1	943,7
18	Тольятти	Самарская обл.	715202	141,2	31,0	110,2	392,2
19	Барнаул	Алтайский край	667646	109,9	69,8	40,1	313,4
20	Ульяновск	Ульяновская обл.	657498	240,7	170,7	70,1	250,8
21	Ижевск	Удмуртская Республика	632140	226,1	220,8	5,3	—
22	Владивосток	Приморский край	620689	142,8 (**)	114,8 (**)	28 (**)	347,5
23	Ярославль	Ярославская обл.	613088	175,7	175,3	0,4	312,0
24	Иркутск	Иркутская обл.	593604	160,4	156,5	3,9	127,2
25	Хабаровск	Хабаровский край	583072	240,3	227,9	12,4	260,0
26	Новокузнецк	Кемеровская обл.	565680	268,5 (**)	150,5 (**)	118 (**)	264,1
27	Оренбург	Оренбургская обл.	565141	172,4	24,6	147,7	538,3
28	Тюмень	Тюменская обл.	564180	123,5	69,3	54,2	194,3
29	Махачкала (*)	Республика Дагестан	545258	248,4	215,2	33,2	345,6
30	Тула (*)	Тульская обл.	530558	302,0	—	302,0	411,8
31	Кемерово (*)	Кемеровская обл.	529934	270,3 (**)	237,3 (**)	33 (**)	410,5
32	Рязань	Рязанская обл.	524104	228,3	175,5	52,8	386,9
33	Пенза	Пензенская обл.	518437	161,6	158,1	3,4	104,6
34	Набережные Челны	Республика Татарстан	513356	169,6	165,0 (**)	4,6	—
35	Липецк	Липецкая обл.	506114	184,2	—	184,2	1043,0
36	Астрахань	Астраханская обл.	504501	119,6	119,6	—	—
37	Киров (*)	Кировская обл.	503043	142,6	128,9	13,8	222,8

Примечания. * Численность включает подчиненные городской администрации населенные пункты. ** По данным за 2000 г.

сутствуют. Их описание и сравнение по отдельным субъектам Федерации потребовало бы составления специальной монографической работы. Ученые дают оценку только ресурсов подземных вод в естественном состоянии или после водоподготовки

(пригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения).

Поэтому в данном разделе будут затронуты только некоторые общие вопросы, определяющие качество подземных вод, используемых для хозяйств-

ненно-питьевого водоснабжения, в дополнение к рассмотренным в разд. 8.6.

В процессе проведения работ по оценке обеспеченности населения ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения была выполнена оценка соответствия качества подземных вод нормативным требованиям на отдельных месторождениях и на участках водозаборов с неутвержденными запасами.

Оценка соответствия качества подземных вод проводилась путем сопоставления содержания в воде отдельных компонентов химического состава, либо величин минерализации, общей жесткости, цветности, мутности в соответствии с требованиями ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая» (ныне отменено), ГОСТ 2761—84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и СанПиН 2.1.4.559—2002 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения». При этом, если содержание даже одного из нормируемых показателей оказывалось не соответствующим указанным требованиям хотя бы по одной водозаборной скважине (на действующих водозаборах), данное месторождение или участок водозабора с неутвержденными запасами подземных вод относилось к группе месторождений и участков, где качество воды не отвечает установленным требованиям. Это весьма жесткое условие было принято для того, чтобы обратить внимание на необходимость более детального анализа месторождений, на которых были обнаружены признаки несоответствия качества подземных вод требованиям государственных стандартов.

Следует отметить, что изучение качества подземных вод при их эксплуатации проводится на достаточно невысоком уровне, часто по очень ограниченному набору компонентов. С другой стороны, во многих случаях обнаруженные повышенные содержания носят эпизодический характер и иногда могут быть связаны с ошибками анализов.

В связи с этим приведенные в настоящем разделе выводы являются приближенными и характеризуют только общий порядок рассматриваемого вопроса.

Все случаи с признаками несоответствия качества подземных вод установленным требованиям можно разделить на три группы. К первой группе относятся месторождения, качество подземных вод которых не отвечало этим требованиям в естественных условиях. В этих случаях превышение со-

держания отдельных компонентов связано с наличием ранее упомянутых гидрогеохимических провинций, при этом основными компонентами, содержание которых не соответствует требованиям, являются минерализация, общая жесткость, железо, марганец, фтор, стабильный стронций и др. (см. разд. 8.6).

Ко второй группе относятся месторождения, в пределах которых произошло ухудшение качества (загрязнение) подземных вод под воздействием антропогенной деятельности. Эту группу, в свою очередь, можно разделить на две подгруппы. Для первой подгруппы изменения качества связаны с подтоком некондиционных подземных вод из эксплуатируемых и смежных водоносных горизонтов или некондиционных поверхностных вод. Загрязнение подземных вод на месторождениях второй подгруппы связано с проникновением загрязняющих веществ из антропогенных источников загрязнения, в связи с отсутствием зон санитарной охраны или нарушением регламента хозяйственной деятельности в этих зонах.

И, наконец, к третьей группе отнесены месторождения и участки водозаборов, где признаки несоответствия качества связаны как с природными, так и антропогенными факторами. Сводные данные по признакам несоответствия качества подземных вод установленным стандартам по месторождениям подземных вод и водозаборах с производительностью свыше 1 тыс. м³/сут, эксплуатируемым на участках с неутвержденными запасами, свидетельствуют о том, что при принятом подходе к оценке качества последнее не соответствует требованиям государственных стандартов примерно на 62% эксплуатируемых месторождений, 52% неэксплуатируемых месторождений и 50% водозаборов, работающих на неутвержденных запасах подземных вод.

В то же время необходимо отметить, что для подавляющего большинства месторождений и водозаборов, в которых отмечаются признаки несоответствия качества, это несоответствие связано с естественными причинами. Такие месторождения и водозаборы составляют около 90% для месторождений и 83% для водозаборов с неутвержденными запасами. И только на 20% месторождений и водозаборов это несоответствие связано с техногенными факторами (сумма превышает 100%, так как имеются месторождения, в которых несоответствие качества определяется как природными, так и антропогенными факторами).

Основными компонентами, содержание которых не соответствует требованиям в естественных условиях, как уже указывалось, являются железо, марганец, фтор (для последнего чаще фиксируется его недостаточное содержание). В Центральном федеральном округе выявлена провинция стронциевоносных вод, там же обнаружены повышенные концентрации таких элементов, как барий, бром и литий. В Приволжском федеральном округе, в его северной части (Удмуртия, Татарстан, Кировская область), развиты бороносные щелочные воды. В Западно-Сибирском и Северо-Кавказском районах отмечаются площади с повышенной цветностью подземных вод, а в Дагестане — повышенное содержание мышьяка.

Как уже указывалось, при характеристике прогнозных ресурсов подземных вод, в отдельных достаточно крупных районах отмечается практическое отсутствие пресных подземных вод (Курганская, Омская, южные районы Тюменской и Новосибирской областей, Калмыкия, Астраханская область, Северо-Восточные районы распространения многолетнемерзлых пород и др.).

При техногенном загрязнении подземных вод основными загрязняющими веществами являются нефть и нефтепродукты, азотистые соединения, фенолы, тяжелые металлы.

Качественная характеристика прогнозных ресурсов подземных вод, безусловно, является важнейшей задачей дальнейших исследований.

10.7.2.5. Об изменениях ресурсов подземных вод во времени

Специальных работ по изучению динамики изменения прогнозных ресурсов подземных вод не проводилось. Косвенно о них можно судить по данным об изучении режима подземных вод. Систематическое изучение естественного режима подземных вод началось в начале 1950-х гг. По мере усиления эксплуатации подземных вод развивалась наблюдательная сеть на действующих водозаборах.

В настоящее время наблюдения за режимом или мониторинг подземных вод является основным поставщиком информации, позволяющей судить о динамике изменения ресурсов подземных вод.

По данным мониторинга выделяются:

- территории с естественным режимом подземных вод;
- территории со слаборазрушенным режимом подземных вод;

— территории с нарушенным режимом подземных вод.

Изучению закономерностей естественного режима подземных вод посвящены многочисленные монографические работы А. В. Лебедева, А. А. Коноплянцева, В. С. Ковалевского, С. М. Семенова, Ю. Б. Челидзе и многих других исследователей. Изучением режима подземных вод занимается специальная служба геомониторинга во всех субъектах Федерации.

Не останавливаясь подробно на отдельных аспектах этого самостоятельного направления гидрогеологических исследований, отметим лишь главные выводы, определяющие возможность и направленность динамики изменения ресурсов подземных вод во времени:

1. За истекший полувековой период были выявлены циклические колебания многоводных и маловодных периодов продолжительностью не более 10–12 лет. Направленного многолетнего тренда изменения питания подземных вод за счет уменьшения или увеличения инфильтрации атмосферных осадков выявлено не было. Это позволило при принятой методике подсчета прогнозных ресурсов использовать среднемноголетние значения питания подземных вод.

Уменьшение питания в маловодные годы компенсируется сработкой емкостных запасов с их последующим восполнением в многоводные годы.

Это подтверждается тем, что возраст подземных вод даже в гранитных массивах (например, район г. Тынды) достигает 8 лет, т. е. несколько маловодных лет не повлияет на общую величину ресурсов подземных вод за счет сработки емкостных запасов даже маломощной коры выветривания.

Таким образом, динамикой изменения величины прогнозных ресурсов за счет естественных составляющих питания подземных вод за прошедшие 50–60 лет в многолетнем разрезе можно пренебречь.

2. Изменение питания подземных вод, приводящее к увеличению их прогнозных ресурсов, может быть связано с изменением водохозяйственной обстановки — строительство водохранилищ, каналов, утечки из трубопроводов на городских территориях и т. п.

Эти мероприятия приводят к увеличению питания подземных вод. Так, на территориях крупных городов инфильтрационное питание может возрасть в 2–3 раза по сравнению с естественными природными территориями за счет утечек из коммуникаций и дру-

гих водохозяйственных систем. Вблизи каналов образуются так называемые приканальные линзы подземных вод и т. п. Перечень приведенных примеров можно было бы расширить, но все они относятся к конкретным месторождениям подземных вод и являются предметом более детального рассмотрения.

При региональных исследованиях, являющихся предметом настоящего исследования, следовало бы учитывать усиление питания подземных вод при формировании водохранилищ и других водохозяйственных систем. Но поскольку эти системы функционируют уже много десятков лет, их роль в формировании прогнозных ресурсов уже учтена в той или иной мере в выполненных расчетах.

3. В районах концентрации крупных водозаборных или водопонижительных систем, суммарный водоотбор которых превышает естественные ресурсы подземных вод, формируются крупные депрессионные воронки, что может приводить к истощению запасов подземных вод (ряд районов Московской и Брянской областей, Краснодарского края, КМА и др.).

В этих случаях сработка емкости водоносных горизонтов в региональном плане в допустимых пределах должна быть учтена при подсчете эксплуатационных запасов подземных вод, что не входило в задачу выполненных исследований.

Напротив, при подсчете прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод, как по гидрогеологическим районам, так и по субъектам РФ, авторы исходили из того, что реальный эксплуатационный водоотбор в региональном плане не должен превышать естественные ресурсы подземных вод и обеспечен ими в многолетнем разрезе.

4. Таким образом, можно констатировать, что величина прогнозных эксплуатационных ресурсов в многолетнем разрезе, как по субъектам Федерации, так и выделенных при гидрогеологическом районировании гидрогеологических структур, с определенной долей приближения может приниматься постоянной, а динамикой их изменения можно пренебречь.

Каждый случай изменения ресурсов подземных вод, связанный с изменением водохозяйственной обстановки, приводящей к усилению питания подземных вод или сработке емкостных запасов, как на локальных участках, так и на значительных площадях какого-либо субъекта Федерации или гидрогеологического района, требует специального отдельного рассмотрения, что выходит за рамки данной работы.

5. Более значимые тенденции изменения ресурсов подземных вод связаны с ухудшением их качества под влиянием техногенеза. Но, как показано в предыдущих разделах, пока неизвестны площади регионального ухудшения качества подземных вод. В основном техногенное загрязнение носит локальный характер и мало влияет на оцененную величину ресурсов подземных вод субъектов Федерации. Естественные аномалии гидрогеохимических провинций, рассмотренные в разд. 8.6, учтены при подсчете прогнозных ресурсов.

Региональное засоление подземных вод на массивах орошения, как правило, затрагивает только грунтовые воды и не относится к оцениваемым продуктивным водоносным горизонтам. Несмотря на негативные тенденции усиления техногенного загрязнения подземных вод, в настоящее время при региональной оценке прогнозных ресурсов их можно не учитывать.

6. Таким образом, рассматривая проблему динамики изменения ресурсов подземных вод в целом и по отдельным субъектам Федерации, их оцененную величину можно признать относительно постоянной в пределах выполненной и приведенной в данной работе оценки. Тем не менее в пределах отдельных субъектов Федерации с интенсивно нарушенной водохозяйственной обстановкой требуется проведение специальных работ по оценке динамики изменения ресурсов подземных вод во времени под влиянием интенсивной водохозяйственной деятельности (Московская, Брянская области, Краснодарский край, Белгородская и Курская области в районах водопонижения от карьеров КМА и ряд других; угледобывающие районы — Кузбасс, Мосбасс, Восточный Донбасс, Приморье и др.).

Как уже отмечалось, каждый из этих случаев требует специальных исследований.

10.8. РЕГИОНЫ, НАИМЕНЕЕ ОБЕСПЕЧЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫМИ И ПОДЗЕМНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

В разд. 10.5.3 в табл. 10.14 представлены данные на 2005 г. по субъектам РФ, которые имеют удельную водообеспеченность местными водными ресурсами в маловодные годы меньше 5000 куб. м в год на человека, т. е. в соответствии с принятой

Удельная водообеспеченность субъектов РФ местными поверхностными водными ресурсами и с учетом прогнозных ресурсов подземных вод (на уровень 2005 г.)

Регионы	Числ. населен., млн чел., 2005 г.	Поверхностные водные ресурсы, км ³ /год		Прогнозные ресурсы подземных вод, км ³ /год	Водные ресурсы, с учетом подземных вод, км ³ /год		Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Водообеспеченность, тыс. м ³ /год на чел.			
		средние многолетние	средние за маловодный период		средние многолетние	средние за маловодный период	полное	безвозвратное	поверхностными водными ресурсами		с учетом подземных вод	
									по средним многолетним ресурсам	в маловодный период	по средним многолетним ресурсам	в маловодный период
Центральный ФО												
Белгородская обл.	1,51	2,50	1,50	0,26	2,76	1,76	0,31	0,14	1,56	0,90	1,74	1,07
Брянская обл.	1,35	5,28	3,60	1,72	7,00	5,32	0,13	0,04	3,88	2,64	5,16	3,91
Владимирская обл.	1,49	4,84	3,00	0,84	5,68	3,84	0,19	0,03	3,23	1,99	3,79	2,56
Воронежская обл.	2,33	3,17	1,40	0,8	3,97	2,20	0,56	0,19	1,28	0,52	1,62	0,86
Ивановская обл.	1,12	4,43	3,00	0,95	5,38	3,95	0,22	0,02	3,94	2,66	4,79	3,51
Калужская обл.	1,02	5,20	3,30	1,06	6,26	4,36	0,14	0,02	5,08	3,22	6,12	4,25
Курская обл.	1,20	3,54	2,10	0,44	3,98	2,54	0,32	0,18	2,80	1,60	3,17	1,97
Липецкая обл.	1,19	2,66	1,40	0,62	3,28	2,02	0,25	0,08	2,17	1,11	2,69	1,63
Московская обл., г. Москва	17,04	8,49	5,30	2,56	11,05	7,86	4,12	0,37	0,48	0,29	0,63	0,44
Орловская обл.	0,84	3,43	2,20	0,96	4,39	3,16	0,12	0,04	4,04	2,57	5,18	3,71
Рязанская обл.	1,20	5,47	3,80	1,79	7,26	5,59	0,22	0,05	4,52	3,13	6,01	4,62
Тамбовская обл.	1,14	3,66	2,20	0,69	4,35	2,89	0,19	0,11	3,11	1,83	3,72	2,44
Тульская обл.	1,62	3,86	2,70	1,24	5,10	3,94	0,36	0,09	2,33	1,61	3,09	2,38
Ярославская обл.	1,34	6,67	3,00	1,17	7,84	4,17	0,33	0,04	4,95	2,21	5,82	3,08
Северо-Западный ФО												
Калининградская обл.	0,94	2,84	1,07	0,51	3,35	1,58	0,17	0,01	3,01	1,13	3,55	1,67
Ленинградская обл., г. СПб	6,25	23,00	8,00	1,81	24,81	9,81	7,05	0,07	3,67	1,27	3,96	1,56
Южный ФО												
Республика Адыгея	0,44	2,62	1,19	0,18	2,80	1,37	0,08	0,00	5,95	2,70	6,36	3,11
Республика Дагестан	2,62	8,40	6,78	0,69	9,09	7,47	3,32	2,28	2,34	1,72	2,60	1,98
Республика Ингушетия	0,48	0,60	0,23	0,07	0,67	0,30	0,06	0,19	0,85	0,08	1,00	0,23
Кабардино-Балкарская Республика	0,90	2,81	2,10	1,57	4,38	3,67	0,46	0,41	2,67	1,88	4,41	3,62

Республика Калмыкия	0,29	1,41	0,22	0,36	1,77	0,58	0,37	0,33	3,72	0,00	4,97	0,86
Республика Сев. Осетия — Алания	0,70	3,82	3,10	0,66	4,48	3,76	0,22	0,10	5,31	4,29	6,26	5,23
Чеченская Республика	1,14	2,13	1,43	0,8	2,93	2,23	0,33	0,29	1,61	1,00	2,32	1,70
Краснодарский край	5,10	16,30	11,60	2,48	18,78	14,08	3,10	1,36	2,93	2,01	3,42	2,49
Ставропольский край	2,72	0,73	0,06	0,88	1,61	0,94	2,78	1,27	0,00	0,00	0,13	—0,12
Астраханская обл.	1,00	0,00	0,00	0,18	0,18	0,18	0,94	0,53	0,00	0,00	—0,35	—0,35
Волгоградская обл.	2,66	4,95	2,42	1,46	6,41	3,88	0,83	0,62	1,63	0,68	2,18	1,23
Ростовская обл.	4,33	3,50	1,76	0,58	4,08	2,34	2,28	0,80	0,62	0,22	0,76	0,36
Приволжский ФО												
Республика Башкортостан	4,08	26,90	13,60	2,41	29,31	16,01	0,78	0,24	6,53	3,27	7,13	3,87
Республика Марий Эл	0,72	3,98	3,16	0,77	4,75	3,93	0,10	0,02	5,50	4,36	6,57	5,43
Республика Мордовия	0,87	3,30	1,64	0,88	4,18	2,52	0,07	0,02	3,77	1,86	4,78	2,87
Республика Татарстан	3,77	8,70	3,82	2,15	10,85	5,97	0,74	0,09	2,28	0,99	2,85	1,56
Удмуртская Республика	1,55	9,15	5,36	1,06	10,21	6,42	0,29	0,09	5,85	3,40	6,53	4,08
Чувашская Республика	1,30	3,10	0,50	0,22	3,32	0,72	0,13	0,00	2,38	0,38	2,55	0,55
Нижегородская обл.	3,44	12,20	8,13	2,23	14,43	10,36	1,20	0,16	3,50	2,32	4,15	2,97
Оренбургская обл.	2,15	7,65	2,00	1,64	9,29	3,64	1,60	0,14	3,49	0,87	4,26	1,63
Пензенская обл.	1,42	5,27	2,50	2,81	8,08	5,31	0,28	0,01	3,70	1,75	5,68	3,73
Самарская обл.	3,20	4,63	1,90	1,68	6,31	3,58	1,03	0,26	1,37	0,51	1,89	1,04
Саратовская обл.	2,63	5,51	2,20	3,5	9,01	5,70	0,66	0,38	1,95	0,69	3,28	2,02
Ульяновская обл.	1,35	5,00	2,18	0,47	5,47	2,65	0,18	0,06	3,66	1,57	4,01	1,92
Уральский ФО												
Курганская обл.	0,99	1,03	0,19	0,66	1,69	0,85	0,07	0,01	1,03	0,18	1,70	0,85
Свердловская обл.	4,43	31,80	15,10	7,15	38,95	22,25	1,18	0,02	7,17	3,40	8,79	5,02
Челябинская обл.	3,55	7,13	3,00	1,66	8,79	4,66	0,80		2,01	0,85	2,48	1,31
Сибирский ФО												
Новосибирская обл.	2,66	5,81	0,00	1,68	7,49	1,68	0,76	0,14	2,13	0,00	2,76	0,58
Омская обл.	2,05	5,68	1,40	1,06	6,74	2,46	0,30	0,08	2,73	0,64	3,25	1,16
Агинский Бурятский АО	0,07	0,99	0,21	0,15	1,14	0,36	0,00		14,14	3,00	16,29	5,14

Удельная водообеспеченность гидроклиматических регионов с учетом местных поверхностных и подземных водных ресурсов (на уровень 2005 г.)

Регионы	Числ. населен., млн. чел.	Поверхностные водные ресурсы, км ³ /год		Прог-нозные ресурсы подземных вод, куб. м/год	Водные ресурсы с учетом подземных вод, км ³ /год		Водопотребление, км ³ /год, 2005 г.		Водообеспеченность, тыс. м ³ /год на чел.			
		2005 г.	средн. многолетн.		средн. за маловод. период	средние многолетние	средние за маловодный период	полное	безвозвр.	поверхностные водные ресурсы		водные ресурсы с учетом подземных вод
	по средним многолет. ресурсам			в маловод. период						по средним многолет. ресурсам	в маловод. период	
№ 1 север СЗ ФО	3,88	466	379	22,5	489	402	3,00	0,33	120,0	97,6	126,0	103,0
№ 2 запад СЗ ФО	9,85	90,2	54,1	8,81	99	63	8,09	0,9	9,1	5,40	10,0	6,3
№ 3 север ЦФО	29,3	88,6	54,9	16,9	106	72	8,69	1,41	2,98	1,83	3,6	2,4
№ 4 ЦЧО ЦФО	7,75	19,0	10,8	3,77	23	15	2,04	0,61	2,37	1,31	2,9	1,8
№ 5 Южный ФО	22,8	53,6	35,6	9,93	64	46	14	7,22	2,03	1,24	2,5	1,7
№ 6 Приволжский ФО	30,7	175	95,1	28	203	123	10,3	1,94	5,64	3,03	6,5	3,9
№ 7 юг Уральского ФО	8,97	40,0	18,3	9,47	49	28	2,1	0,39	4,42	2,00	5,5	3,1
№ 8 север Уральского ФО	3,52	344	248	54,40	398	302	1,37	0,16	97,7	70,4	113,0	85,9
№ 9 юго-запад Сибирского ФО	11,4	163	109	25,80	189	135	4,03	0,63	14,2	9,51	16,5	11,8
№ 10 юг Сибирского ФО	6,89	566	347	53,6	620	401	2,73	0,54	82,1	50,3	89,8	58,1
№ 11 север Сибирского ФО	1,72	548	236	29,7	578	266	1,95	0,21	318,5	137	336,0	154,0
№ 12 центр и север ДВ ФО	0,95	564	470	24,8	589	495	0,12	0,02	593,7	495	620,0	521,0
№ 13 северо-восток ДВ ФО	0,58	565	462	20,9	586	483	0,31	0,03	974,1	797	1010,0	832,0
№ 14 юг и юго-восток ДВ ФО	3,03	394	266	38,6	433	305	0,81	0,1	130,0	87,8	143,0	100,0
№ 15 юго-восток ДВ ФО	2,03	41,3	25,6	0,66	42	26	0,5	0,06	20,3	12,6	20,6	12,9
	143	4118	2811	348	4466	3159	60,04	14,55	28,7	19,6	31,1	22,0

классификацией (см. разд. 10.5.1), их водообеспеченность относится к категориям низкой, очень низкой и критически низкой. Это 46 субъектов РФ, из которых большинство (83% или 38 регионов) имеют водообеспеченность < 5000 и в средние по водности годы.

Имея данные по величинам возобновляемых подземных водных ресурсов, которые приведены в разд. 10.7, представляет несомненный интерес оценить удельную водообеспеченность указанных регионов не только по поверхностным водным ресурсам, но и с учетом прогнозных ресурсов подземных вод, которыми располагает каждый регион, условно полагая, что в исключительно маловодные годы могут появиться возможности хотя бы частичного их использования для неотложных хозяйственных нужд и, прежде всего, для питьевого водоснабжения.

Результаты такой оценки представлены в табл. 10.20 для всех дефицитных по водообеспеченности субъектов РФ. В таблице прогнозные ресурсы подземных вод для каждого региона приняты непосредственно по данным ГИДЭК (см. табл. 10.17) за вычетом береговых водосборов, которые, как правило, имеют прямую связь с речным стоком. Как следует из таблицы, в оценках водообеспеченности с учетом подземных вод ситуация существенно меняется: если учитывать ресурсы подземных вод, то в маловодные годы значительно увеличивается количество регионов, имеющих более высокий уровень водообеспеченности (табл. 10.22). Тем не менее, даже с учетом прогнозных ресурсов подземных вод остается 9 субъектов РФ, которые имеют очень низкую или критически низкую удельную водообеспеченность по местным водным ресурсам

в средние по водности годы — это Ростовская, Астраханская, Белгородская, Воронежская, Самарская, Курганская области, Московская область и г. Москва, Ставропольский край, Республика Ингушетия. Напомним, что эта водообеспеченность относится к водным ресурсам, которые формируются непосредственно на территории каждого субъекта. Практически же значительную часть своих потребностей в воде указанные регионы решают за счет естественного притока речных вод с прилегающих территорий, а в некоторых случаях и в результате межбассейновых перебросок стока (например, Ставропольский край).

Аналогичная оценка изменений водообеспеченности с учетом прогнозных ресурсов подземных вод выполнена и для всех гидроклиматических регионов РФ, полученные данные представлены в табл. 10.21.

Они показывают, что для наиболее дефицитных по местным водным ресурсам регионов в маловодные годы (регионы № 3 и № 4 — ЦФО, № 5 — ЮФО, № 6 — ПФО и № 7 — южная часть УФО) учет ресурсов подземных вод увеличивает удельную водообеспеченность в среднем примерно на 40%. Тем не менее даже в этом случае два гидроклиматических региона (№ 4 — ЦФО и № 5 — ЮФО) имеют очень низкую водообеспеченность в маловодные годы.

Во всех других 10 гидроклиматических регионах учет прогнозных ресурсов подземных вод сколько-нибудь заметно не сказывается на удельной водообеспеченности, здесь даже в маловодные годы она имеет достаточно высокие показатели (табл. 10.21).

Литература

Таблица 10.22

Количество субъектов РФ с разным уровнем удельной водообеспеченности, определенной по поверхностным водным ресурсам и с учетом прогнозных ресурсов подземных вод (на уровень 2005 г.)

Уровень водообеспеченности в тыс. м ³ /год на чел.	Количество субъектов с различным уровнем водообеспеченности			
	поверхностные водные ресурсы		с учетом подземных вод	
	средне-голетние	за маловодный период	средние многолетние	за маловодный период
> 5	8	0	13	4
2,1–5	26	15	24	18
1–2	7	13	5	14
< 1	5	18	4	10

Андреев В. Г. Циклические колебания годового стока, их изменения по территории и учет при расчетах стока // Труды III Всесоюз. гидрологического съезда. — Л.: Гидрометеиздат, 1959. — Т. II. — С. 326–335.

Бабкин В. И. Метод множественной линейной корреляции и его применение в гидрологических исследованиях // Сборник работ по гидрологии, — 1970. — № 9. — С. 29–39.

Бабкин В. И., Воробьев В. Н., Смирнов Н. П. Северо-Атлантическое колебание и динамика стока рек Европы. — СПб.: Изд-во РГГМУ. — 1999. — Вып. 123. — С. 38–47.

Бабкин В. И., Воскресенский К. П. Современная оценка водных ресурсов Советского Союза. — Водные ресурсы. — 1976. — № 5. — С. 5–13.

- Бабкин В. И., Вуглинский В. С.* Оценка водных ресурсов СССР в условиях их интенсивного использования // ВГО. — 1983. — С. 12–16.
- Бабкин В. И., Гусев О. А., Новикова В. А.* Методы осреднения и интерполяции гидрометеорологических характеристик // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 217. — С. 175–186.
- Бабкин В. И., Шикломанов И. А.* Водные ресурсы СССР в настоящем и будущем // Проблемы современной гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1989.
- Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике. — М.: Наука, 1967. — 608 с.
- Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. — Л.: Гидрометеоздат, 1967. — 200 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 301 с.
- Воскресенский К. П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеоздат, 1962. — 547 с.
- Дейвид Г.* Порядковые статистики. — М.: Наука, 1979. — 335 с.
- Демин А. П.* Тенденция использования и охраны водных ресурсов в России // Водные ресурсы. — 2000. — № 6. — С. 735–754.
- Думнов А. Д., Борисов С. С.* Учет использования воды: основные этапы становления и проблемы современного анализа (краткий обзор // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов». — 2003. — № 9–10.
- Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2005 г. — М.: Геоинформмарк, 2006. — Вып. 29.
- Кузин П. С.* Циклические колебания стока рек Северного полушария. Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 178 с.
- Поляк И. И.* Оценивание линейного тренда временных метеорологических рядов // Труды ГГО. — 1975. — Вып. 364. — С. 51–55.
- Пространственно-временные колебания стока рек СССР / Под ред. А. В. Рождественского. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 376 с.
- Регионы России. Статистический сборник. — М.: Росстат, 2006. — 101 с.
- Шикломанов И. А.* Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 302 с.
- Язвин Л. С., Боревский Б. В.* и др. Карта модулей прогнозных ресурсов питьевых подземных вод территории Российской Федерации. — М.: ГИДЭК, 2003. — С. 54.
- UN/WMO/SEI. 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report prepared for the 5th Session of the UN Commission on Sustainable Development. Stockholm, UN/World Meteorological Organization, Stockholm Environment Institute.
- Shiklomanov I. A.* et al. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // The Freshwater Budget of the Arctic Ocean, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2000. — P. 281–297.
- Shiklomanov I. A., Balonishnikova J. A.* World water use and water availability: trends, scenarios, consequences. IAHS Publ. — 2003. — N 281. — P. 358–364.
- Shiklomanov I. A., Rodda J.* (ed). World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. — UNESCO: Cambridge University Press, 2003. — 436 p.

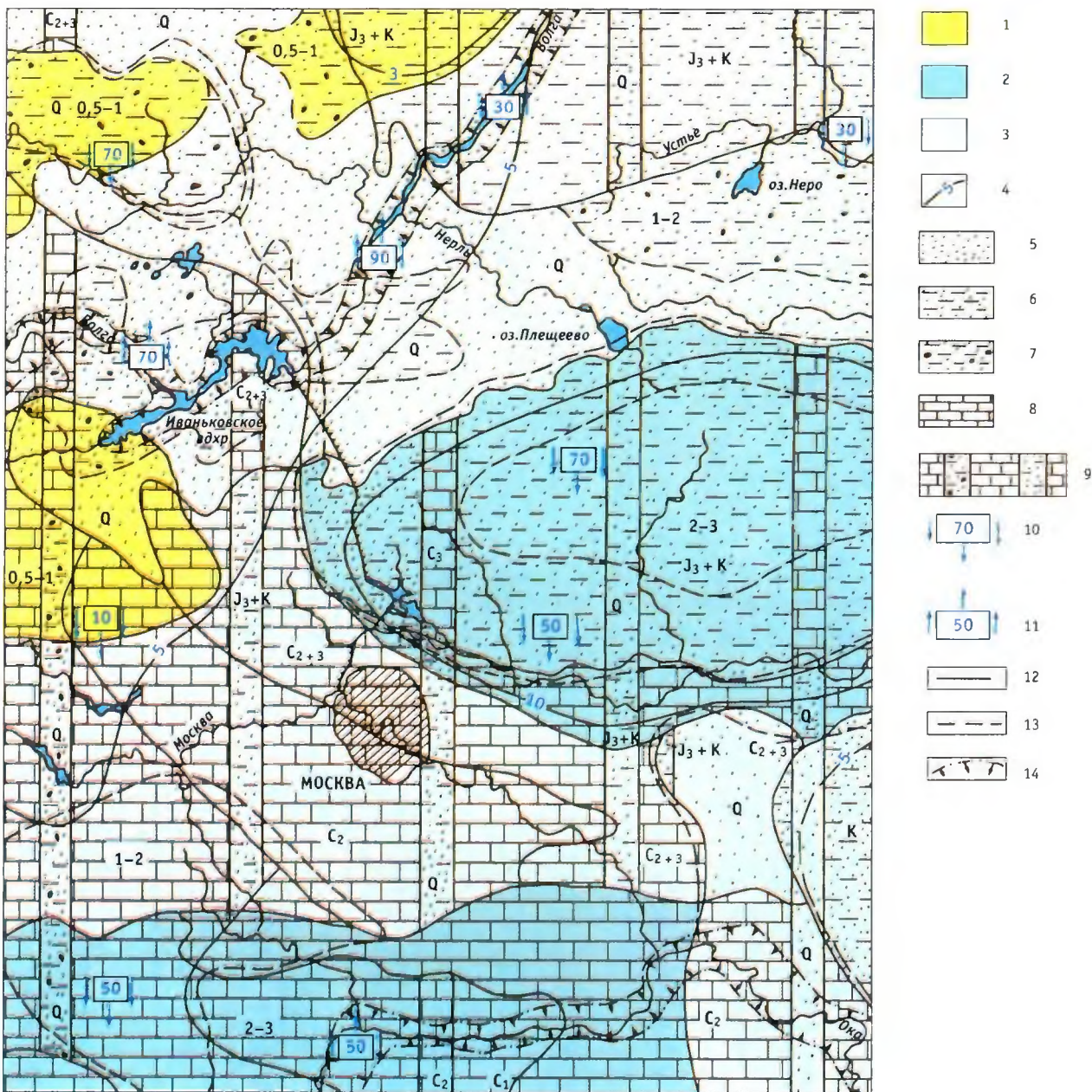


Рис. 11. Карта естественных ресурсов подземных вод Центральной части Московского региона:

1-3 — средние годовые значения модуля подземного стока, $л/(с \cdot км^2)$: 1 — 0,5-1, 2 — 1-2, 3 — 2-3; 4 — изолинии коэффициента подземного стока, % от осадков; 5-8 — водовмещающие породы: 5 — преимущественно-глинистые с крупнообломочными, 8 — преимущественно карбонатные (известняки, доломиты); 9 — участие водоносных горизонтов (комплексов) в формировании подземного стока: *a* — основное (более 50%), *b* — подчиненное; 10 — региональные области писания глубоких подземных вод; 11 — области (участки) восходящей разгрузки глубоких подземных вод; 12 — границы основных водоносных комплексов; 13 — границы расчетных участков (оценка величин питания и разгрузки глубоких подземных вод); 14 — границы региональных областей питания подземных вод зоны глубокого стока

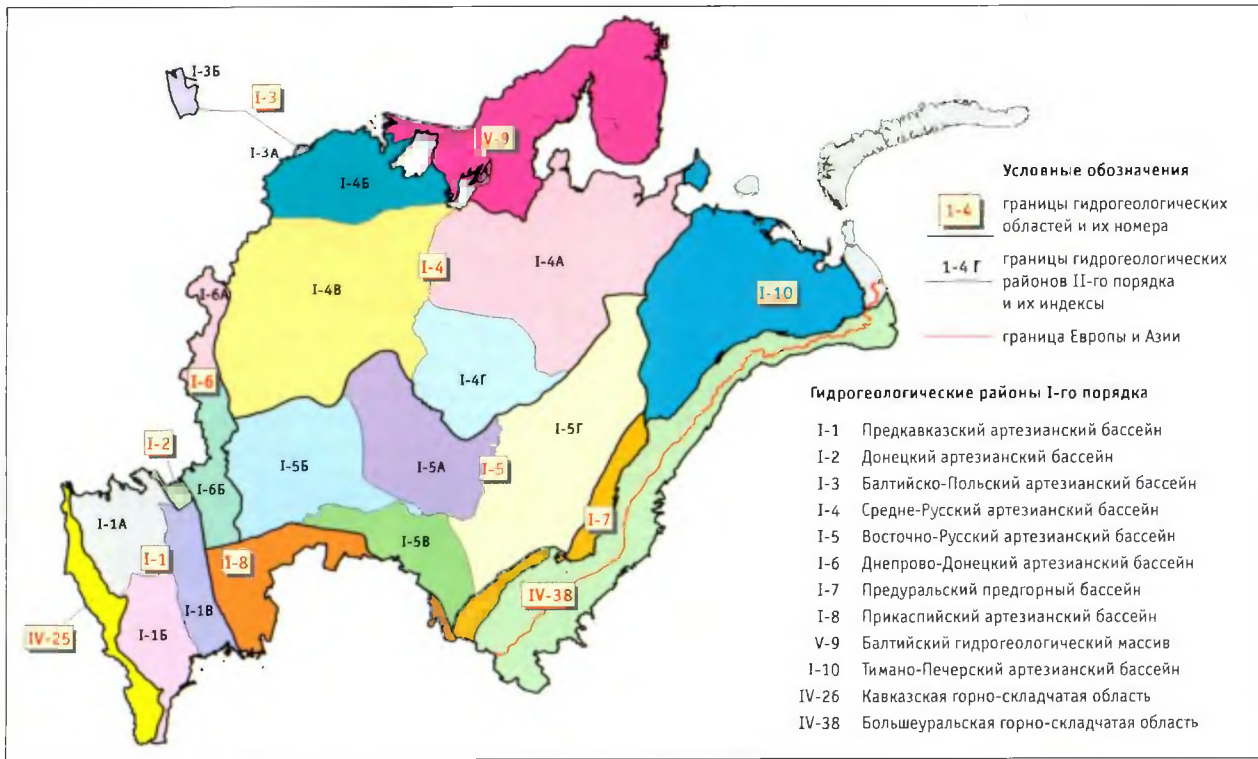


Рис. 12. Карта-схема гидрогеологического районирования европейской части территории России



Рис. 13. Карта-схема гидрогеологического районирования азиатской части территории России



Рис. 14. Водность территорий субъектов Российской Федерации Центрального федерального округа

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ

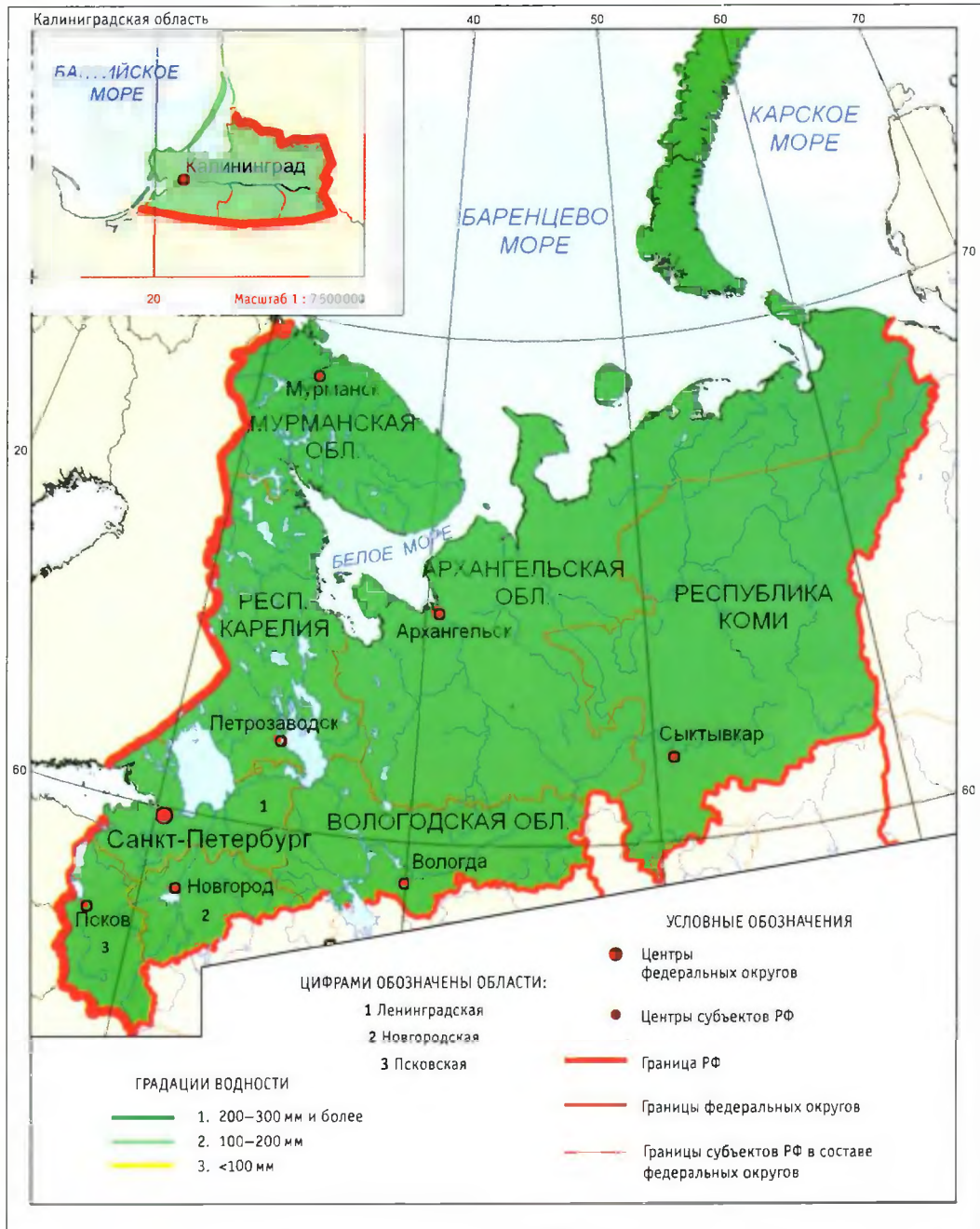


Рис. 15. Водность территорий субъектов Российской Федерации Северо-Западного федерального округа

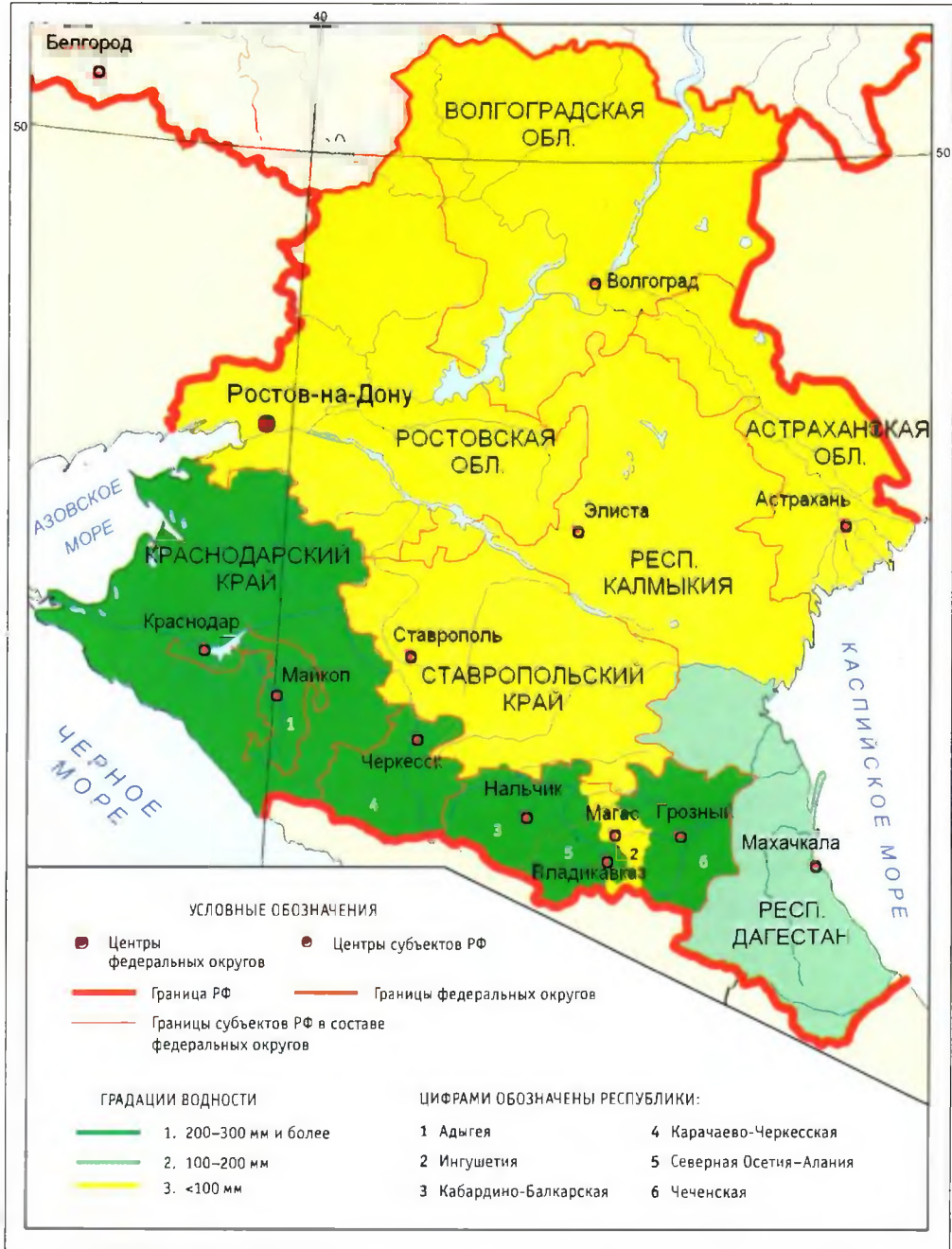


Рис. 16. Водность территорий субъектов Российской Федерации Южного федерального округа

ПРИВОЛЖСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ

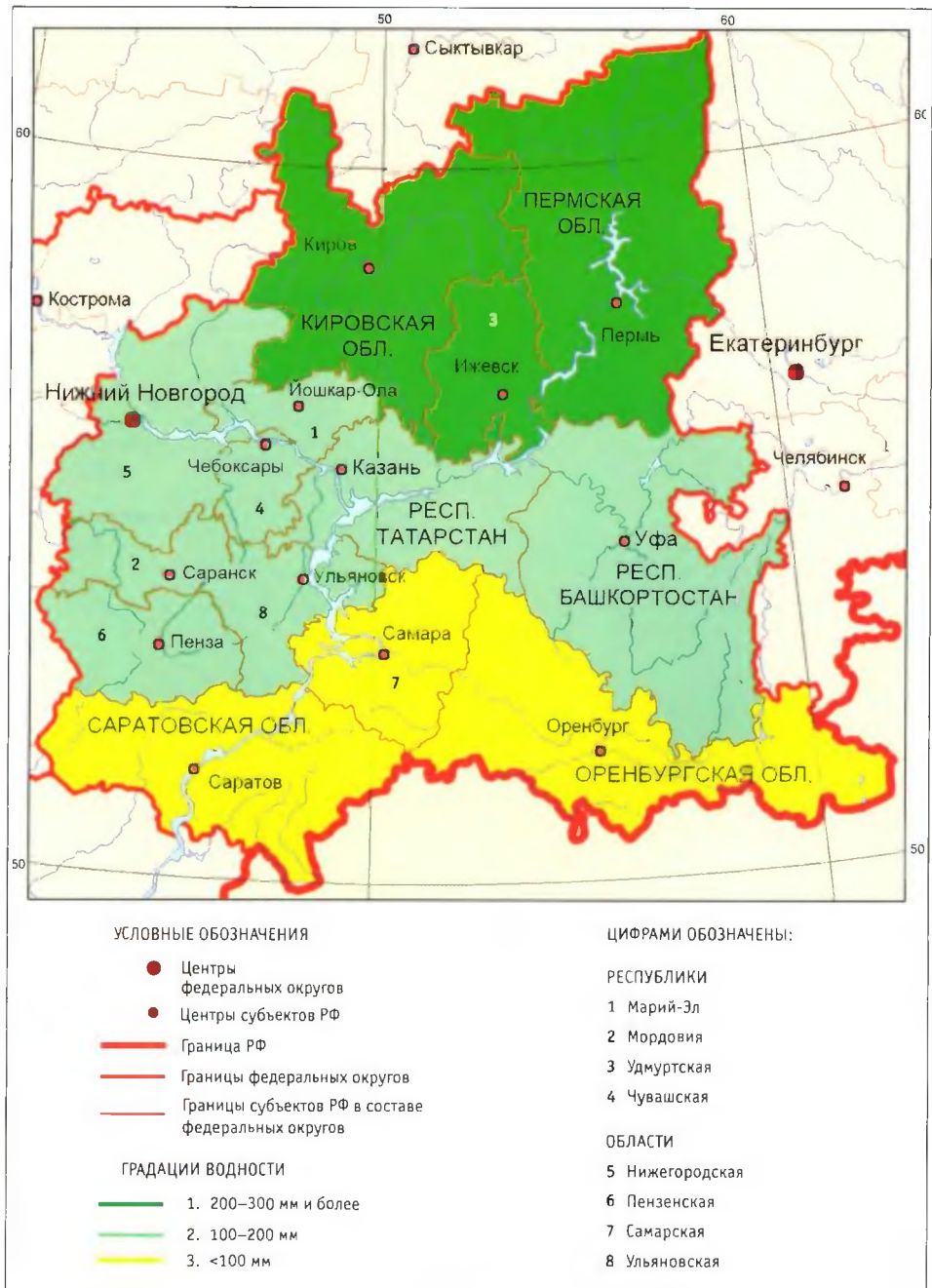


Рис. 17. Водность территорий субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа

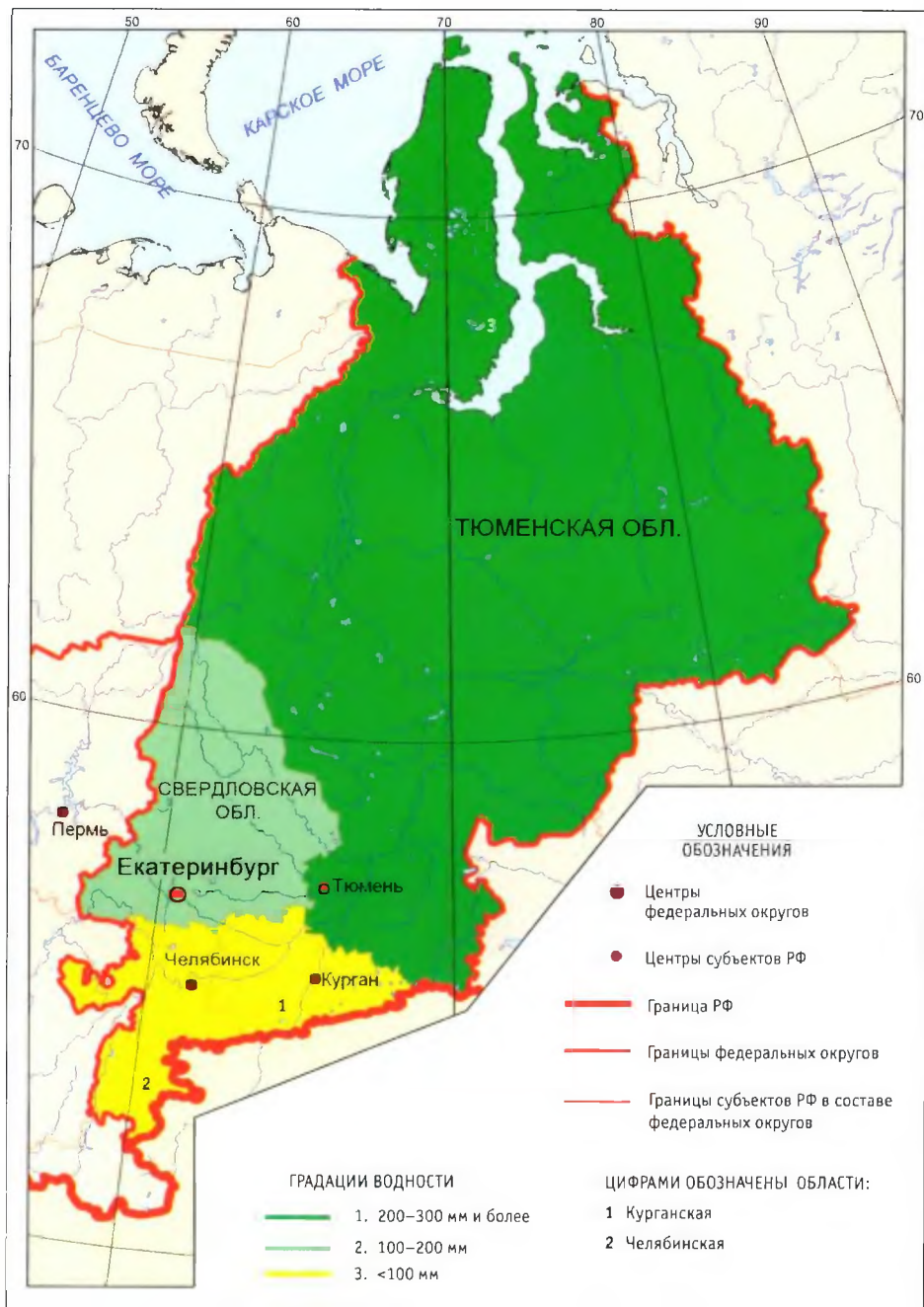


Рис. 18. Водность территорий субъектов Российской Федерации Уральского федерального округа

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ

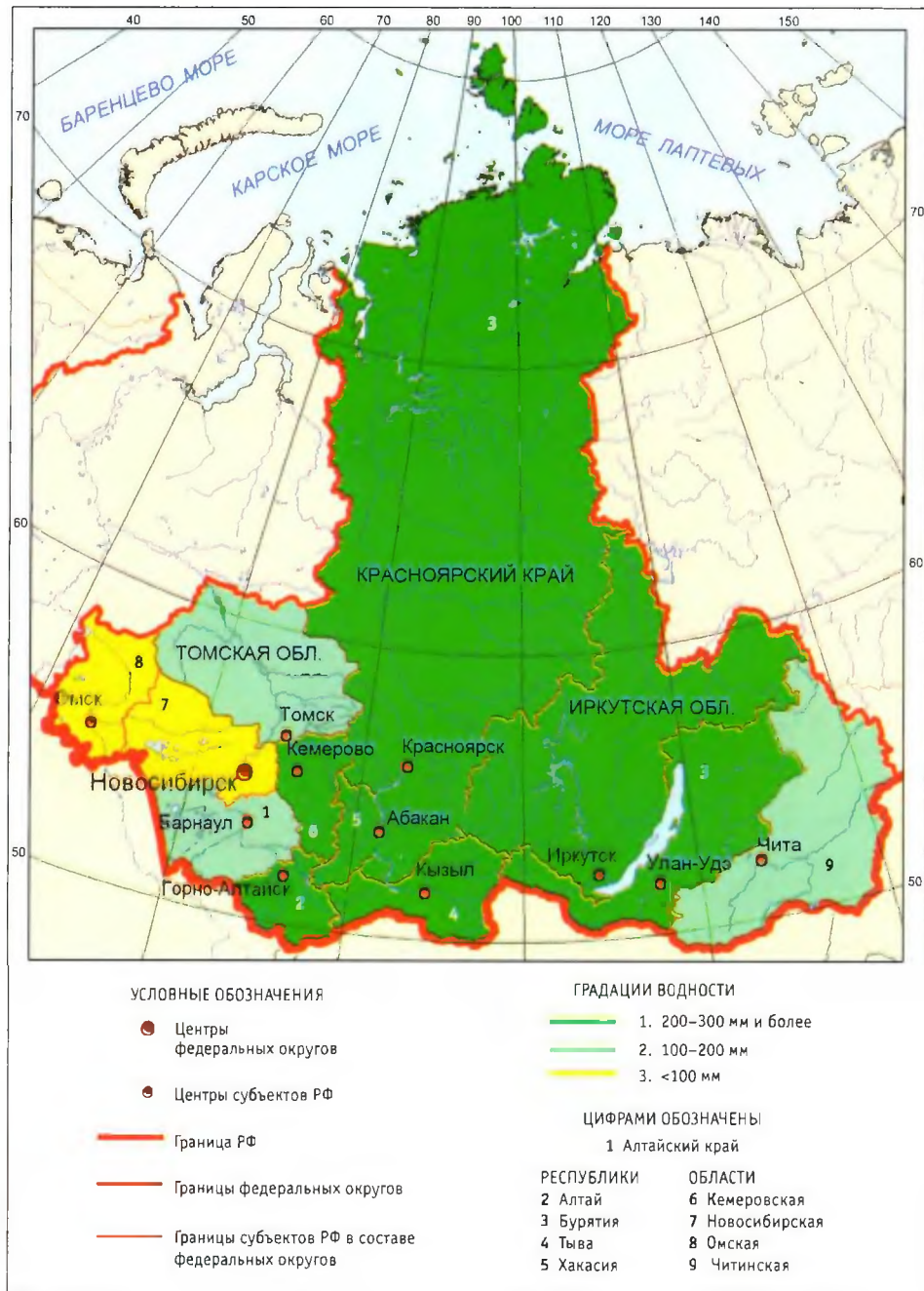


Рис. 19. Водность территорий субъектов Российской Федерации Сибирского федерального округа

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ



Рис. 20. Водность территорий субъектов Российской Федерации Дальневосточного федерального округа



Рис. 21. Водность территорий федеральных округов Российской Федерации

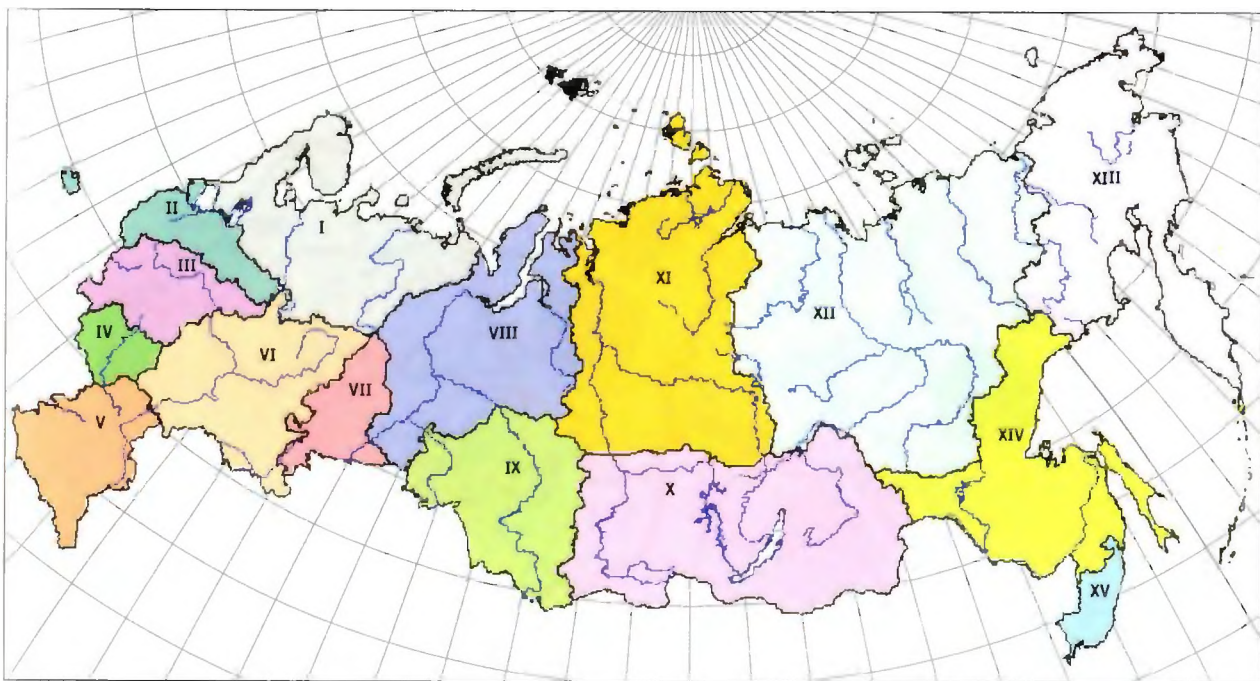


Рис. 22. Схема гидроклиматических регионов

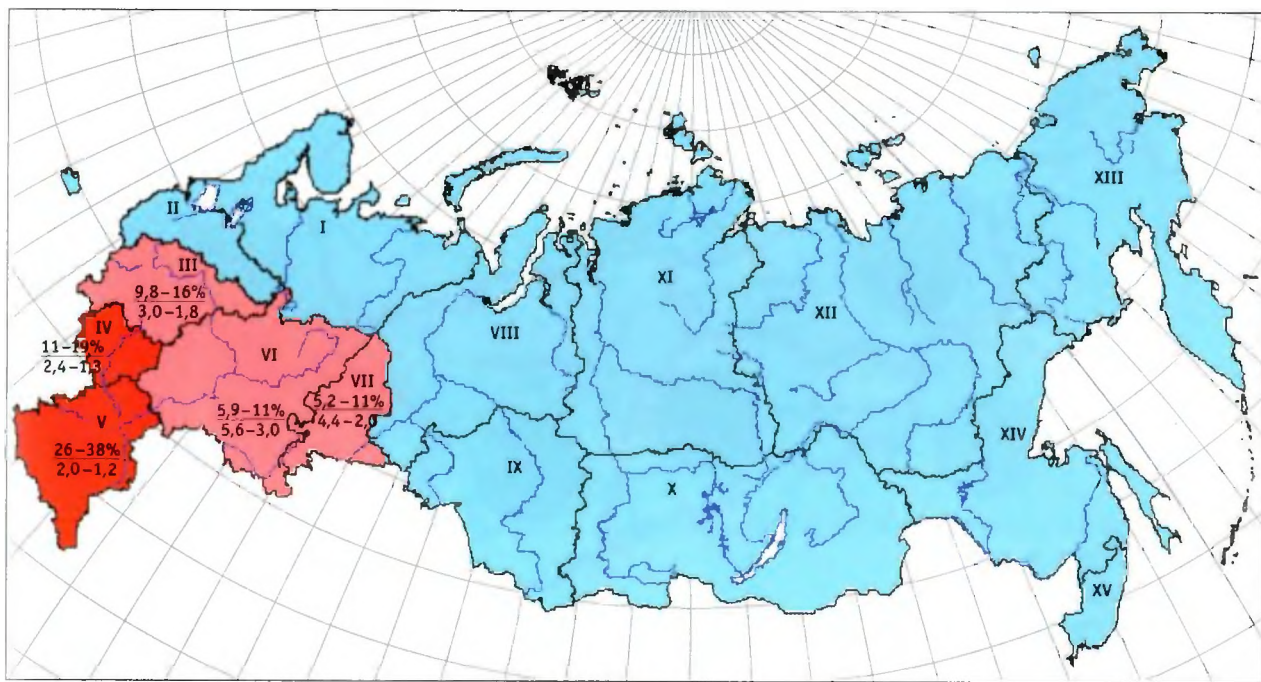


Рис. 23. Нагрузка на водные ресурсы и удельная водообеспеченность гидроклиматических регионов в средние и маловодные годы на уровень 2005 г.:

В числителе — нагрузка на местные водные ресурсы в средние и маловодные годы, в знаменателе — водообеспеченность в тыс. м³ в год на человека в средние и маловодные годы; ■ — регионы, имеющие во все годы очень низкую нагрузку на водные ресурсы ($K_{исп} < 4\%$) и очень высокую водообеспеченность (> 10 тыс. м³/год)

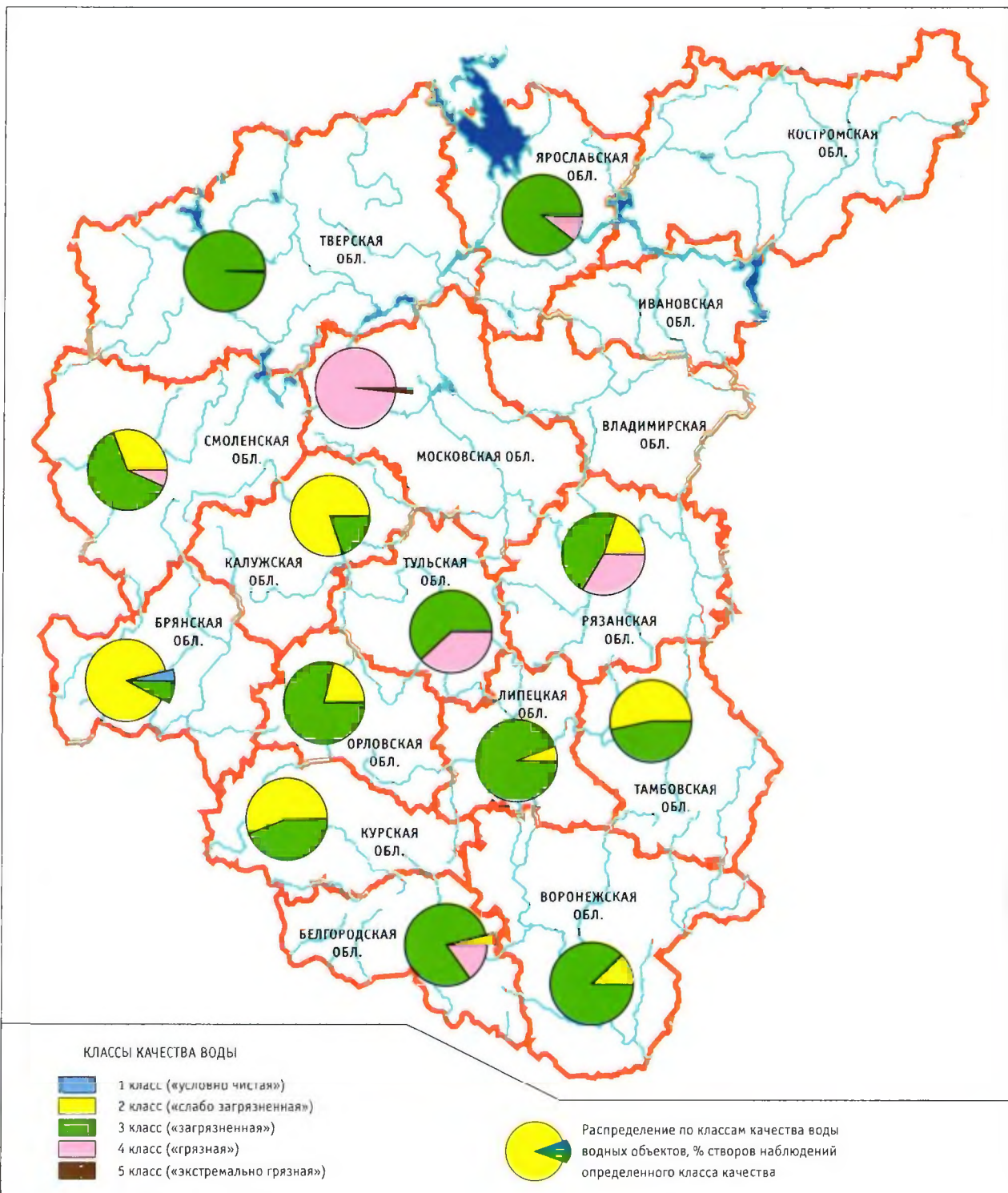


Рис. 24. Качество поверхностных вод Центрального федерального округа (2005 г.)

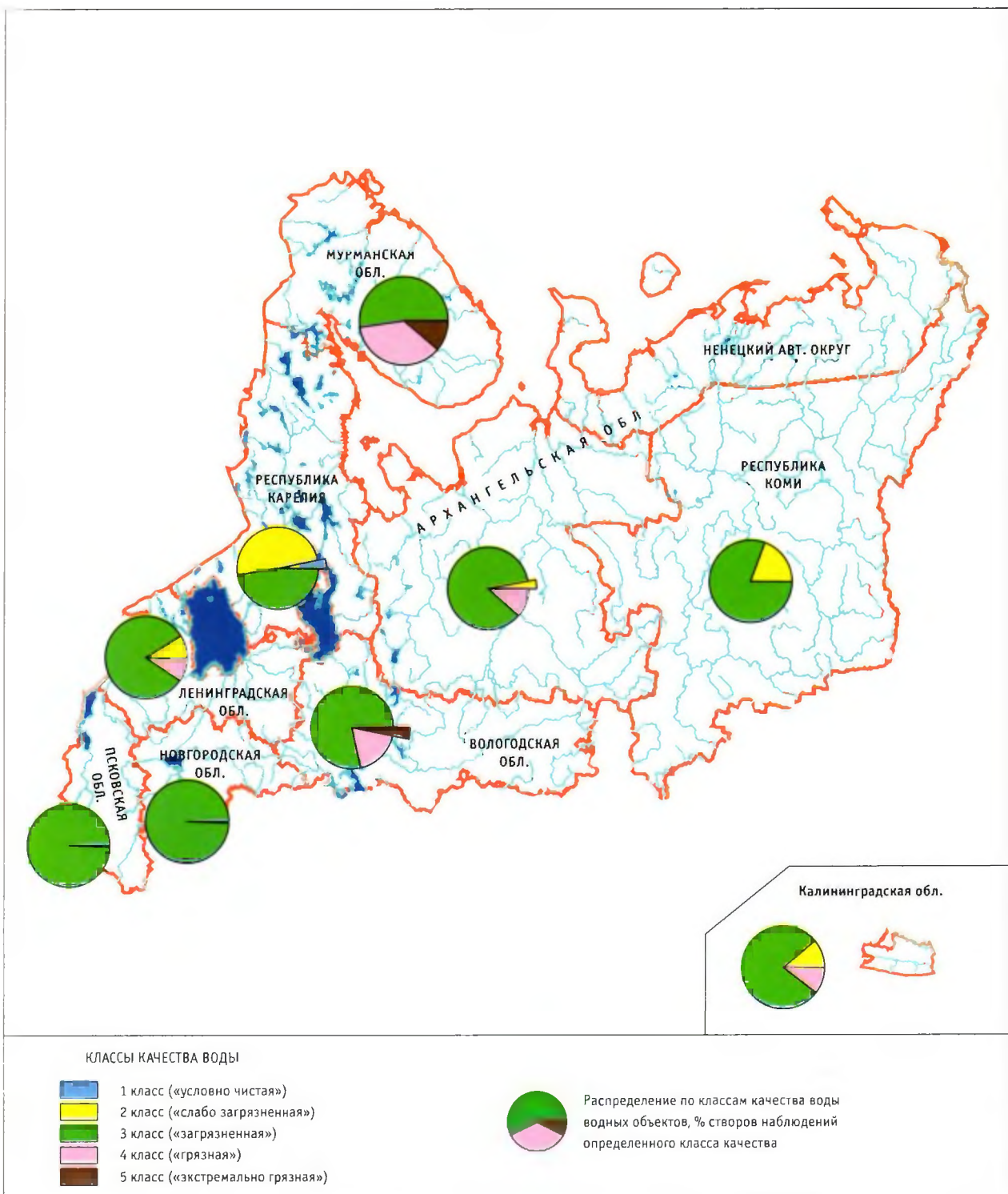


Рис. 25. Карта-схема качества поверхностных вод Северо-Западного федерального округа

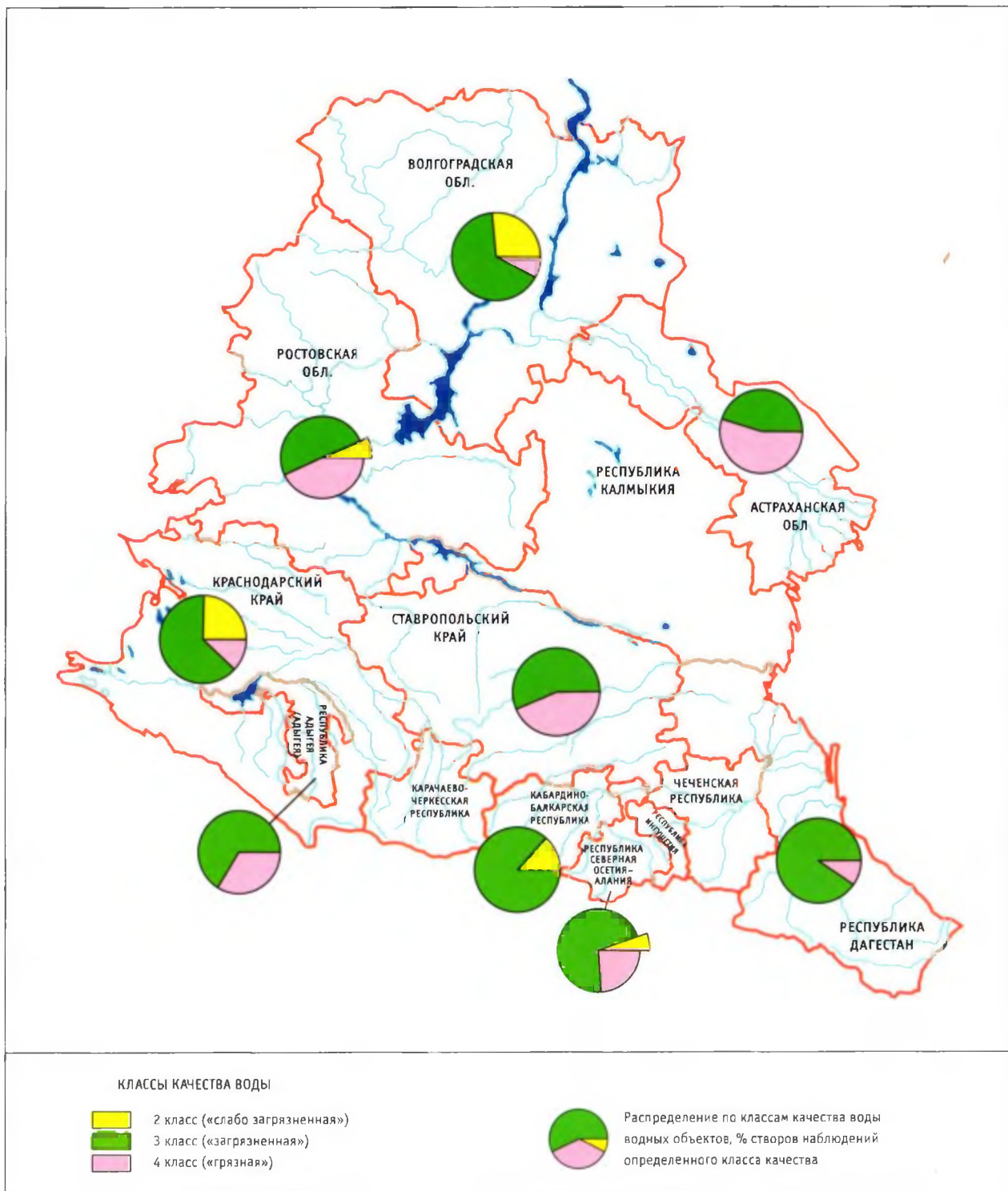


Рис. 26. Карта-схема качества поверхностных вод Южного федерального округа

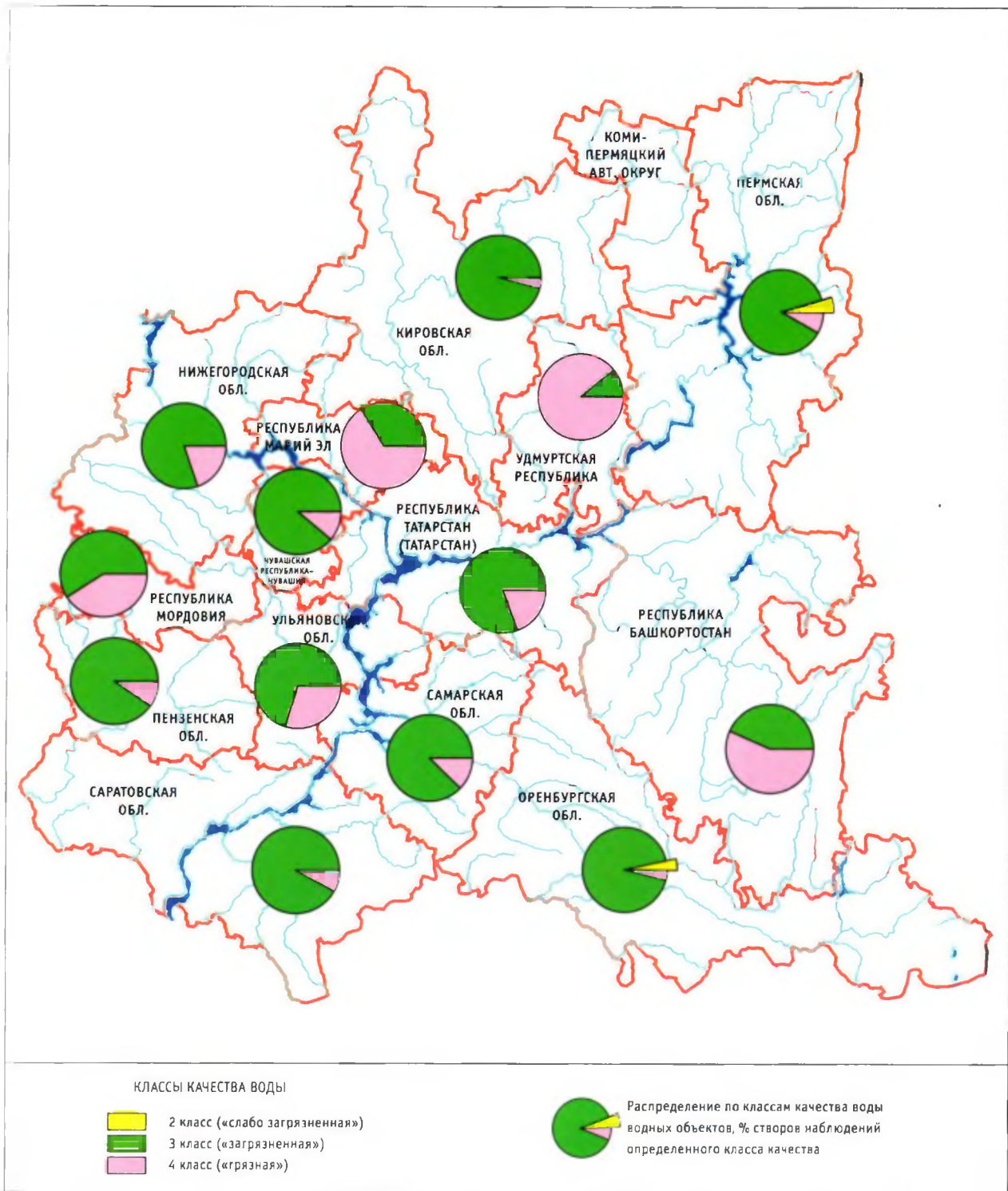


Рис. 27. Карта-схема качества поверхностных вод Приволжского федерального округа

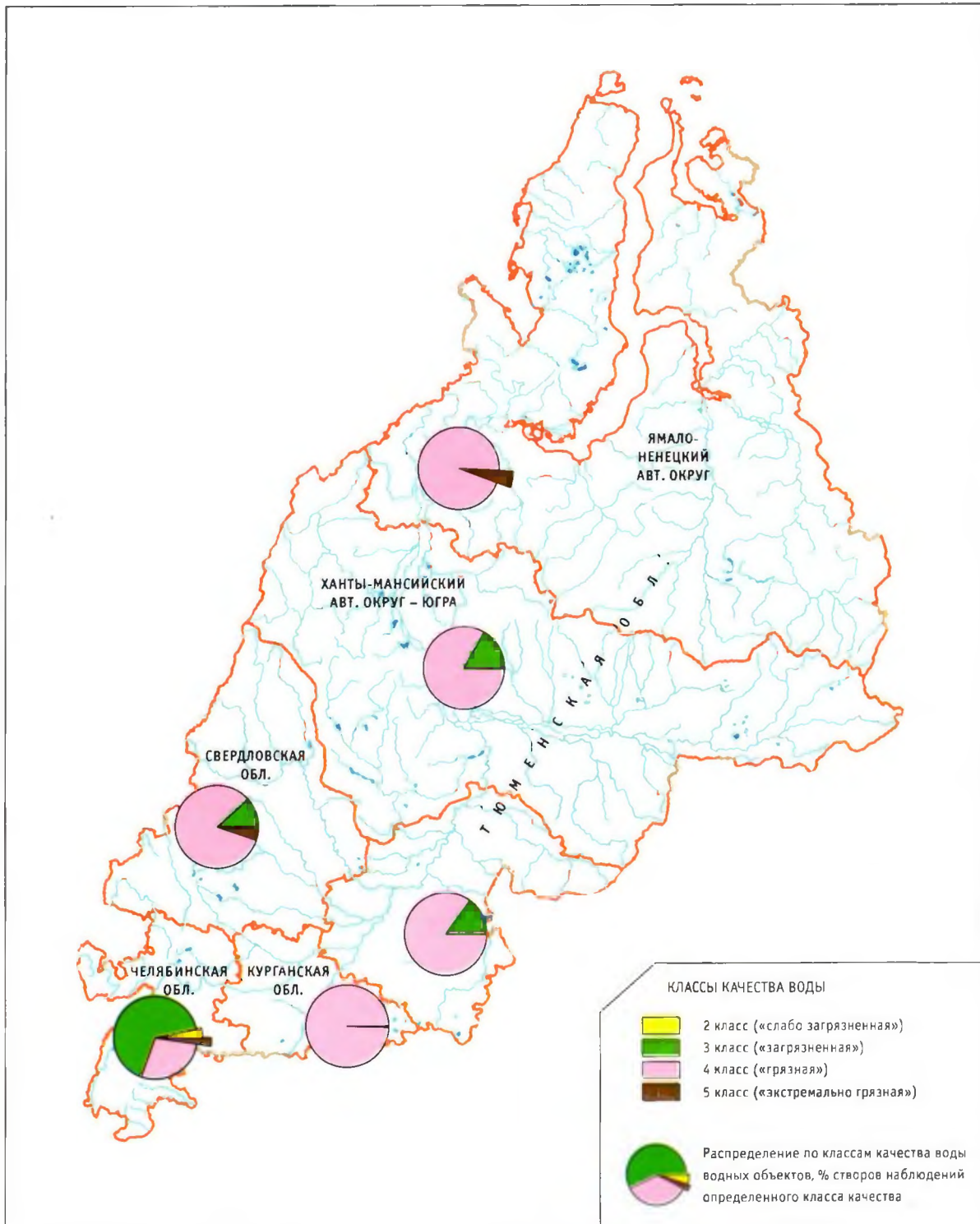
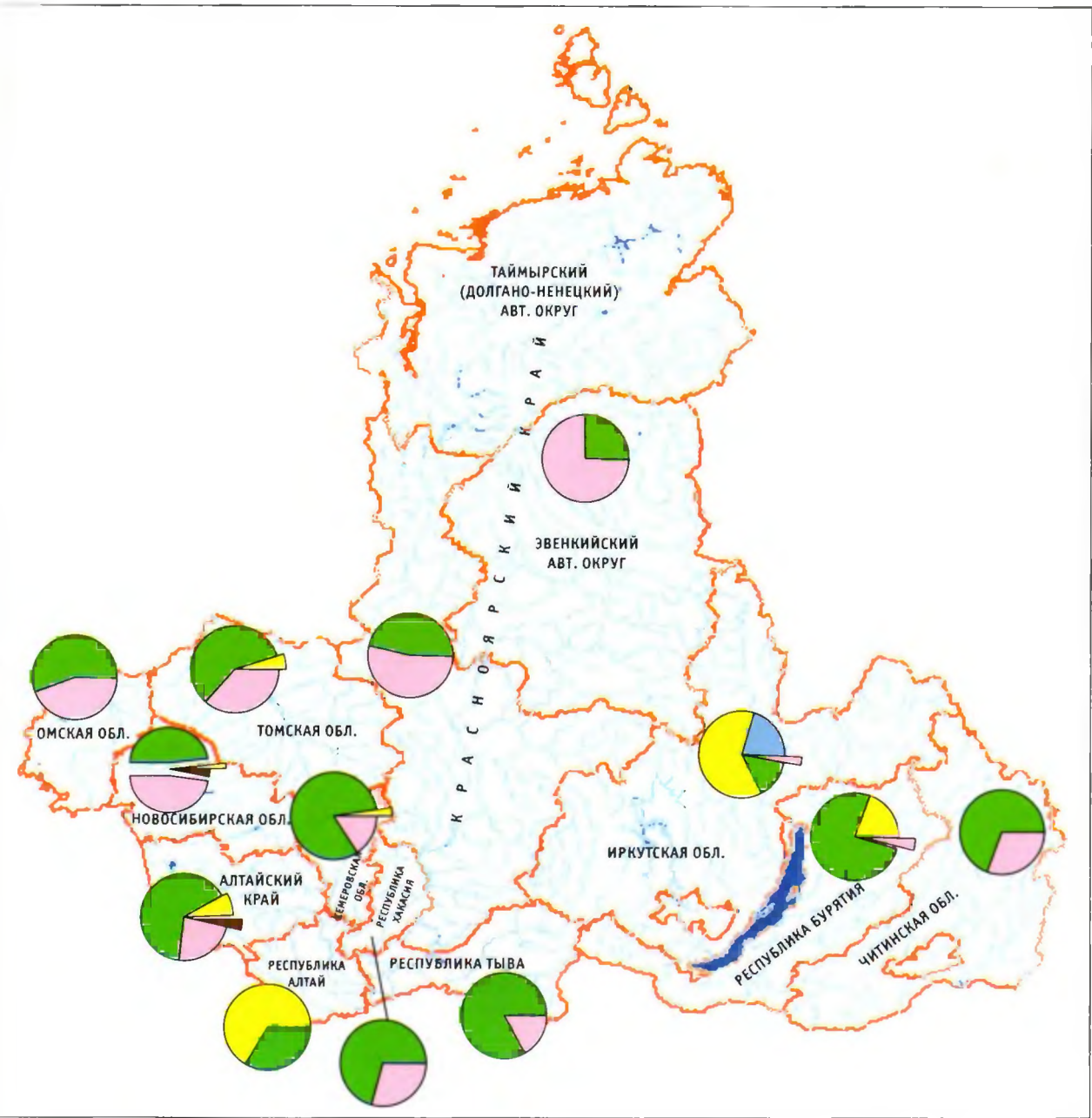


Рис. 28. Карта-схема качества поверхностных вод Уральского федерального округа



КЛАССЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ

- 1 класс («условно чистая»)
- 2 класс («слабо загрязненная»)
- 3 класс («загрязненная»)
- 4 класс («грязная»)
- 5 класс («экстремально грязная»)



Распределение по классам качества воды водных объектов, % створов наблюдений определенного класса качества

Рис. 29. Карта-схема качества поверхностных вод Сибирского федерального округа

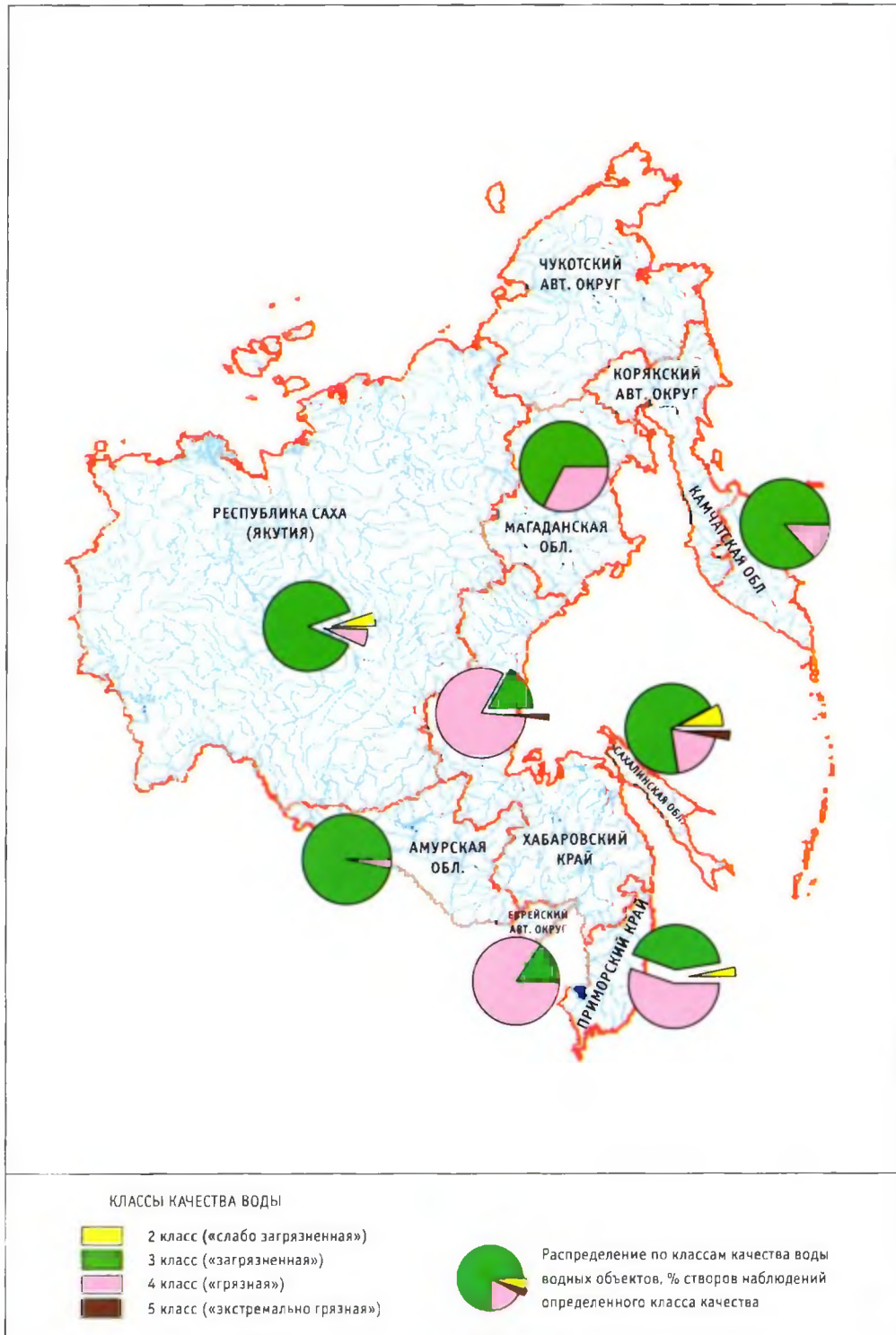


Рис. 30. Карта-схема качества поверхностных вод Дальневосточного федерального округа

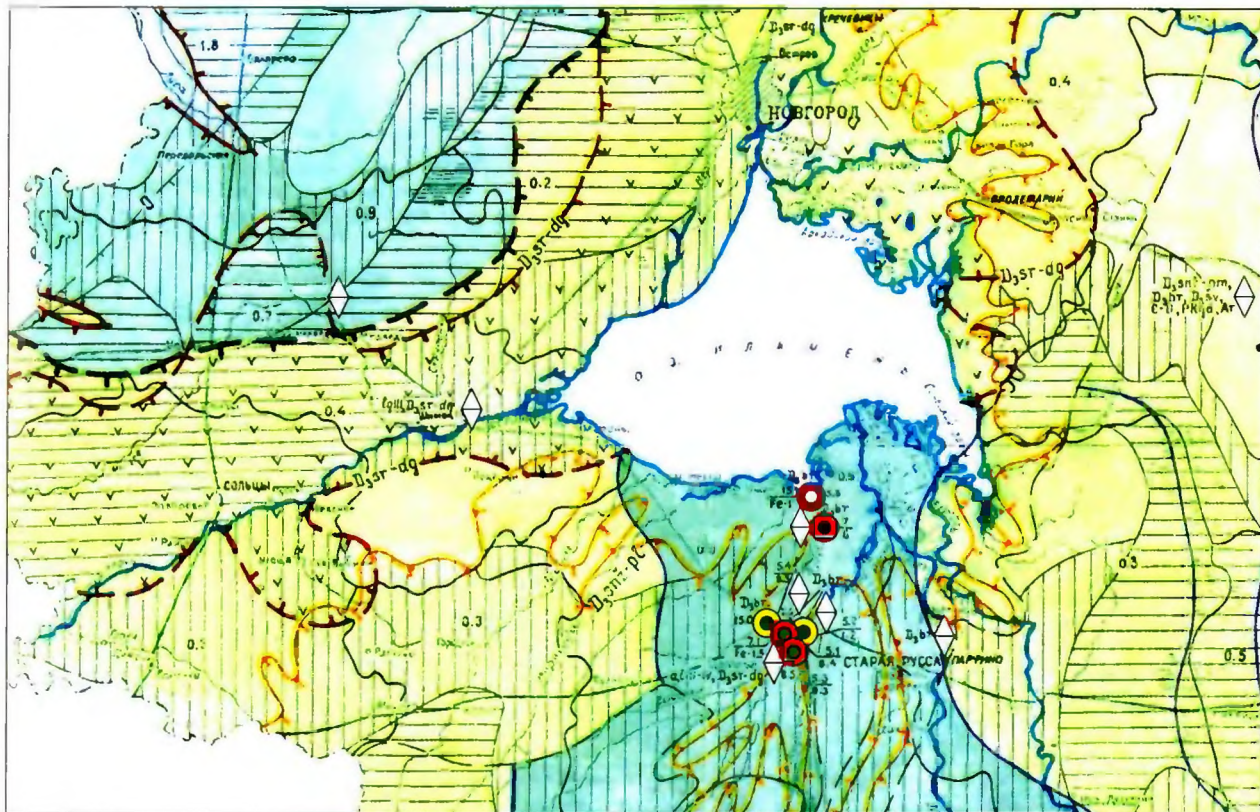


Рис. 31. Фрагмент карты современного состояния подземных вод и условий их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Новосибирская обл.

Условные обозначения к рис. 31, 32

Модули эксплуатационных ресурсов подземных вод

1. Площадные, л/с · км²

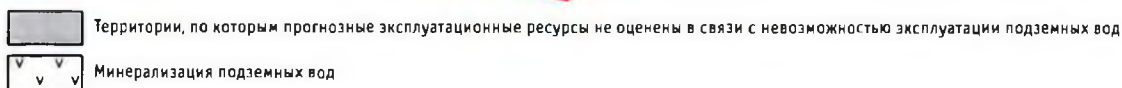
а) оцененные по модулю питания подземных вод



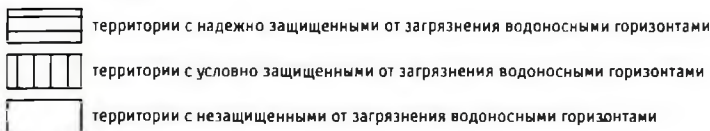
б) оцененные по модулю меженного стока родников, которые могут быть использованы для водоснабжения



2. Линейные (л/с · км²), оцененные в речных долинах (группа Д)



Защищенность подземных вод



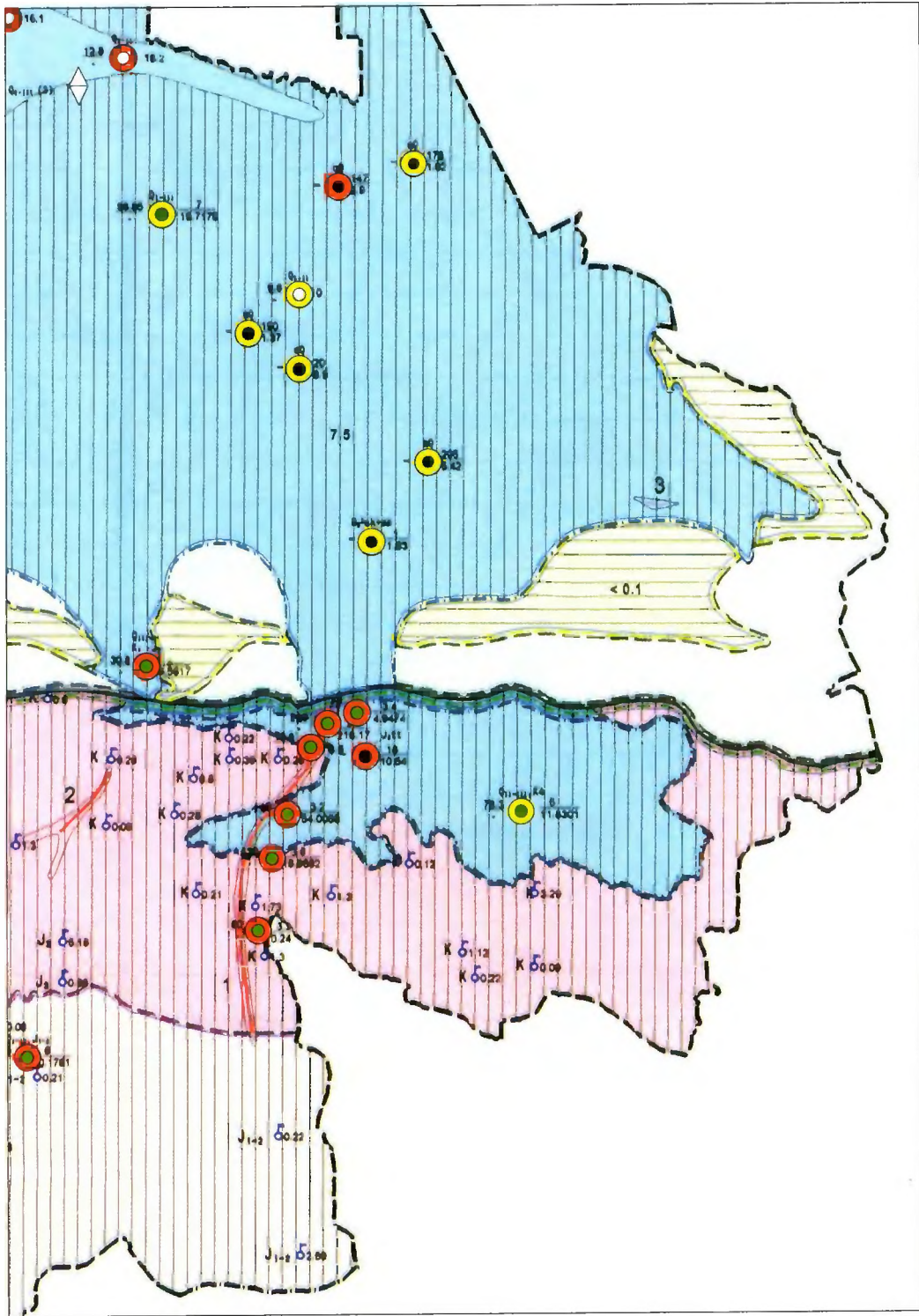
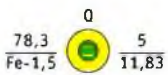


Рис. 32. Фрагмент карты современного состояния подземных вод и условий их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Республика Северная Осетия — Алания

Условные обозначения к рис. 31. 32 (окончание)

Месторождения и водозаборы подземных вод



Цвет кольца — условия защищенности:
 зеленый — надежно защищенный;
 желтый — условно защищенный;
 красный — незащищенный.

Цвет внутреннего круга — условия освоения:
 белый — месторождение не освоено;
 зеленый — водозабор, работающий на утвержденных запасах;
 черный — водозабор, работающий на неутвержденных запасах.

Цифры справа: числитель — номер по каталогу; знаменатель — водоотбор, тыс. м³/сут.
 Цифры слева: числитель — утвержденные эксплуатационные запасы, тыс. м³/сут;
 знаменатель — индекс загрязняющего вещества и его содержание, мг/дм³;
 над знаком — индекс водоносного горизонта.

Родники

J₃ ♂ 0,6

а) неэксплуатируемый
 справа — минимальный дебит, тыс. м³/сут;
 слева — индекс водоносного горизонта.

N₂ ♀ $\frac{0,8}{0,006}$

б) эксплуатируемый
 справа — в числителе: средний водоотбор, тыс. м³/сут;
 в знаменателе: минимальный дебит, тыс. м³/сут;
 слева — индекс водоносного горизонта.

Q_{1-III} (3) ⬠

Наблюдательные скважины, слева — индекс наблюдаемых водоносных горизонтов, в скобках — количество скважин.

Прочие знаки

1. Границы

	государственные		территорий по условиям распространения и питания основных водоносных горизонтов и их использования
	субъектов Федерации		гидрологических районов по количеству основных водоносных горизонтов
	гидрологических районов		территорий с различными модулями прогнозных эксплуатационных ресурсов

2. Границы распространения водоносных комплексов

	Q _{1-III}	древнечетвертичных		московского
	N _{2ар} -Q _{1-III}	апшеронских-древнечетвертичных		веневско-протвинского
	N _{2ак+ар}	акчагыл-апшеронских		малевско-михайловского
	J ₃ -K ₂	верхнеюрских-верхнемеловых		снежско-плавского
	J ₁₋₂	нижне-среднеюрских		сарагаевско-даугавского
				арукюласко-швянтайского

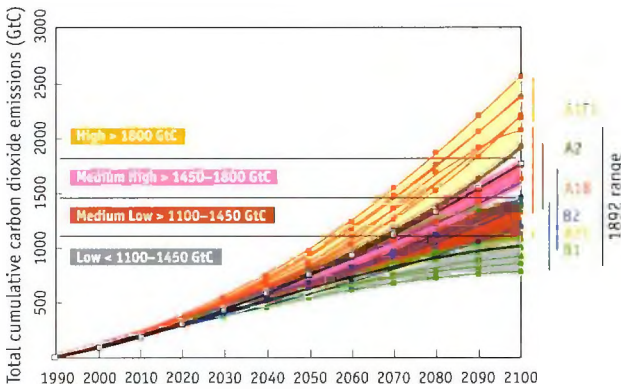


Рис. 33. Сценарии выброса парниковых газов в атмосферу (IPCC, 2007)

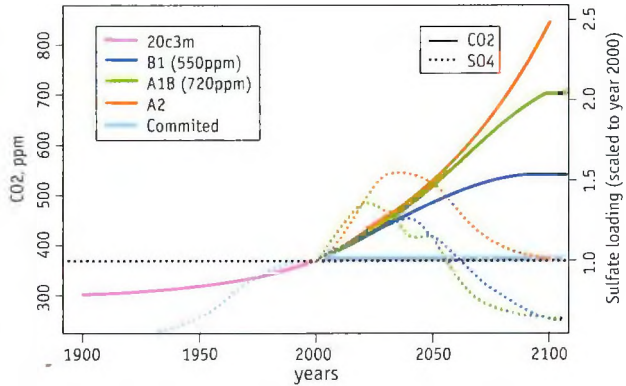
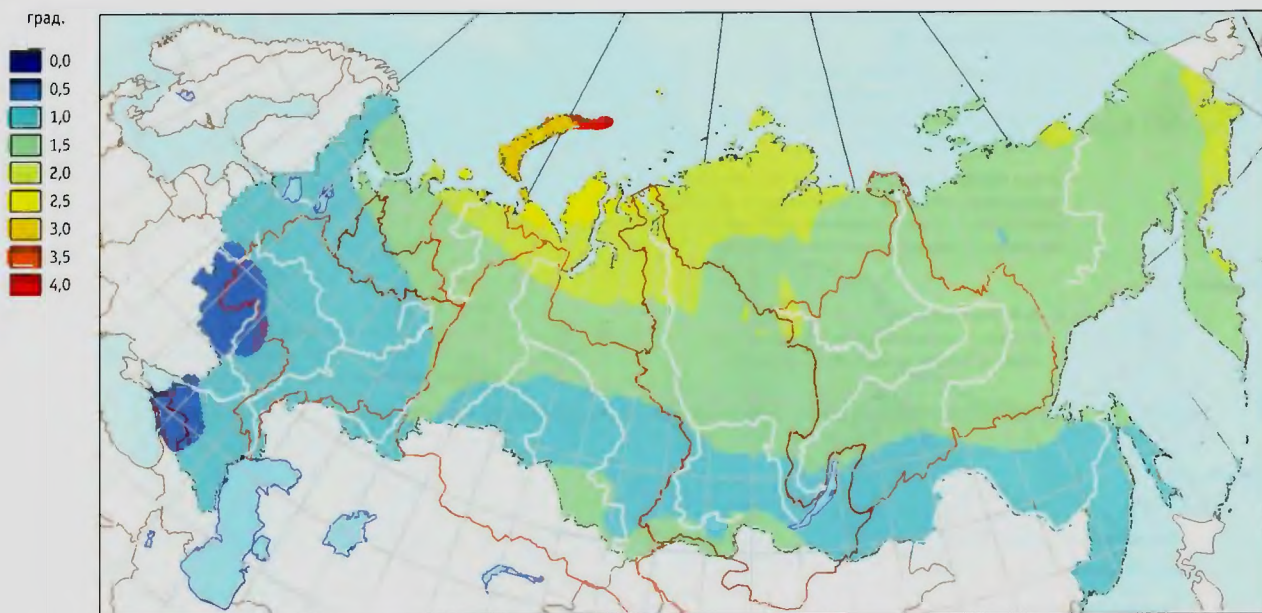


Рис. 34. Варианты моделируемых сценариев климата

а



б

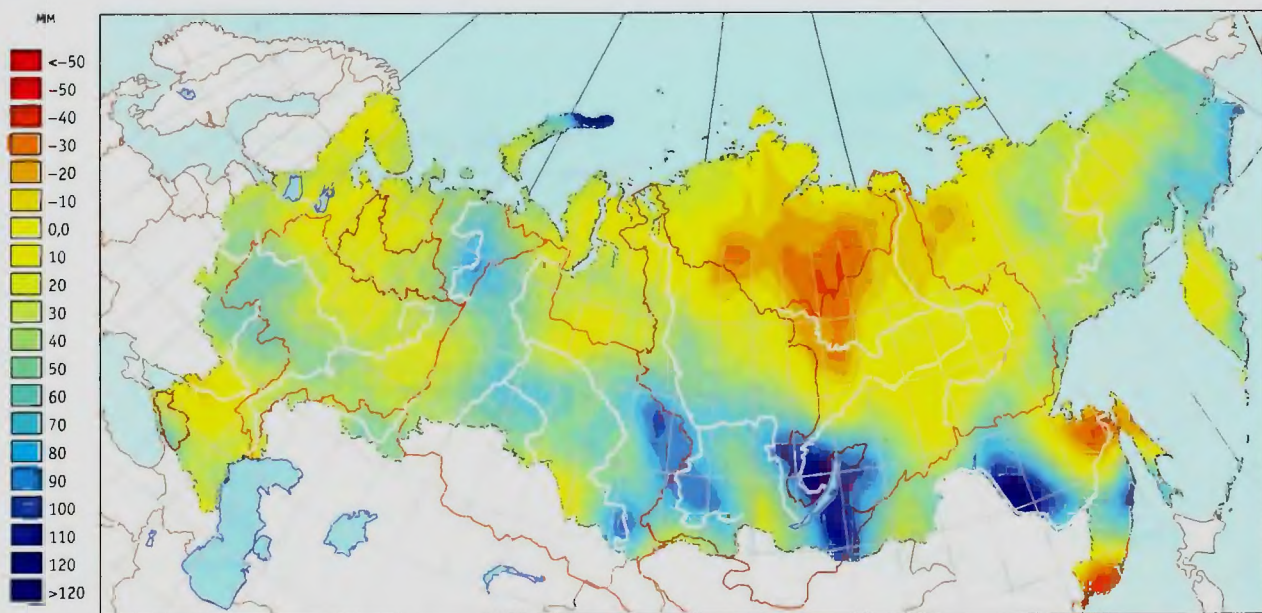
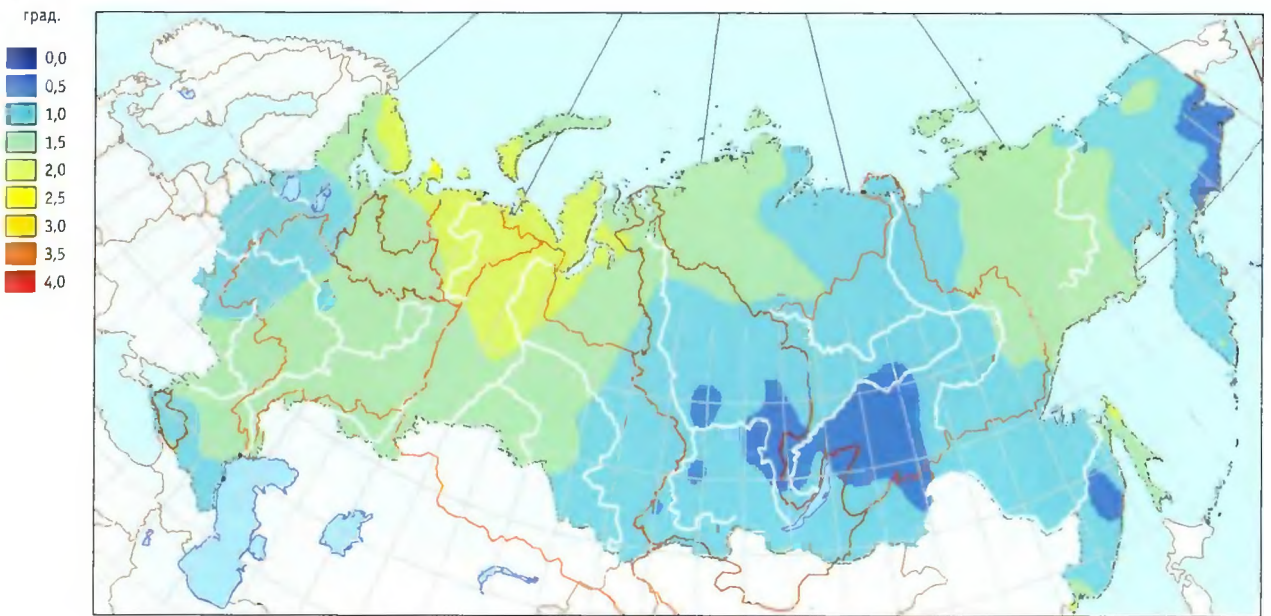


Рис. 35. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель ECHAM5-OM, сценарий A2

а



б

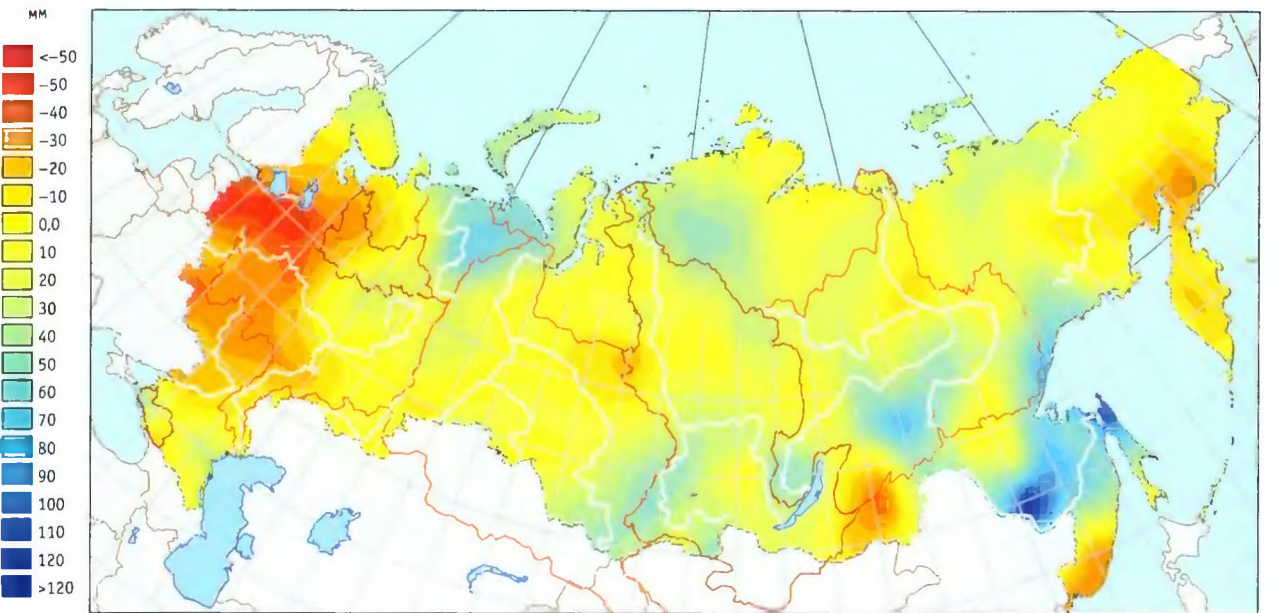
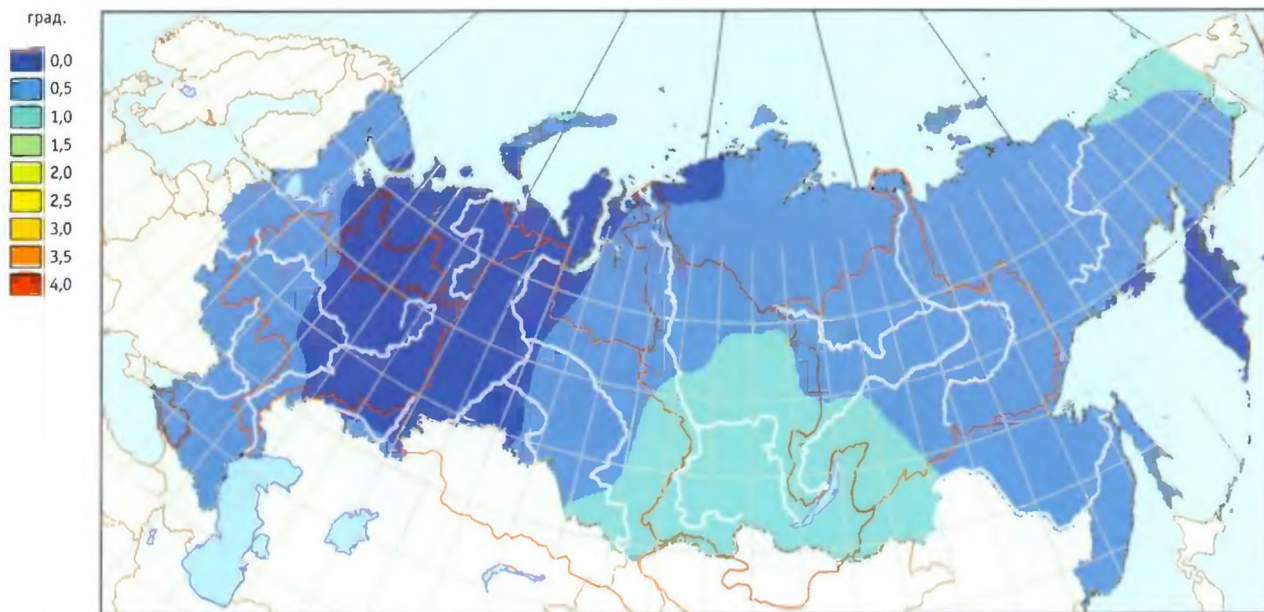


Рис. 36. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель HadCM3, сценарий А2

а



б

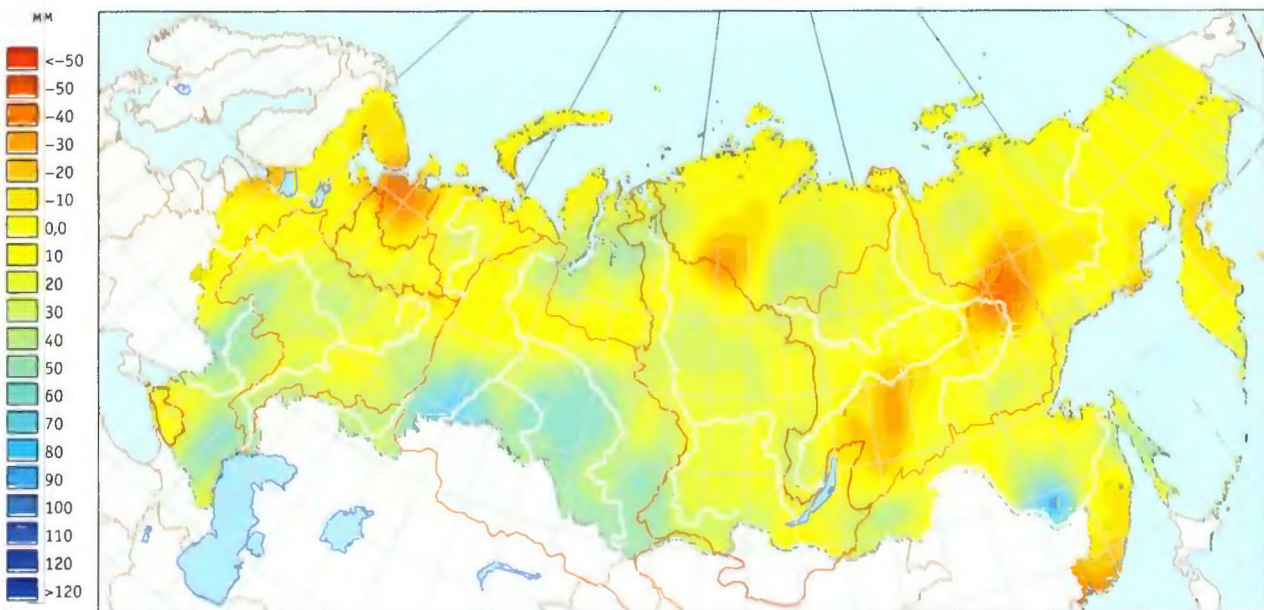
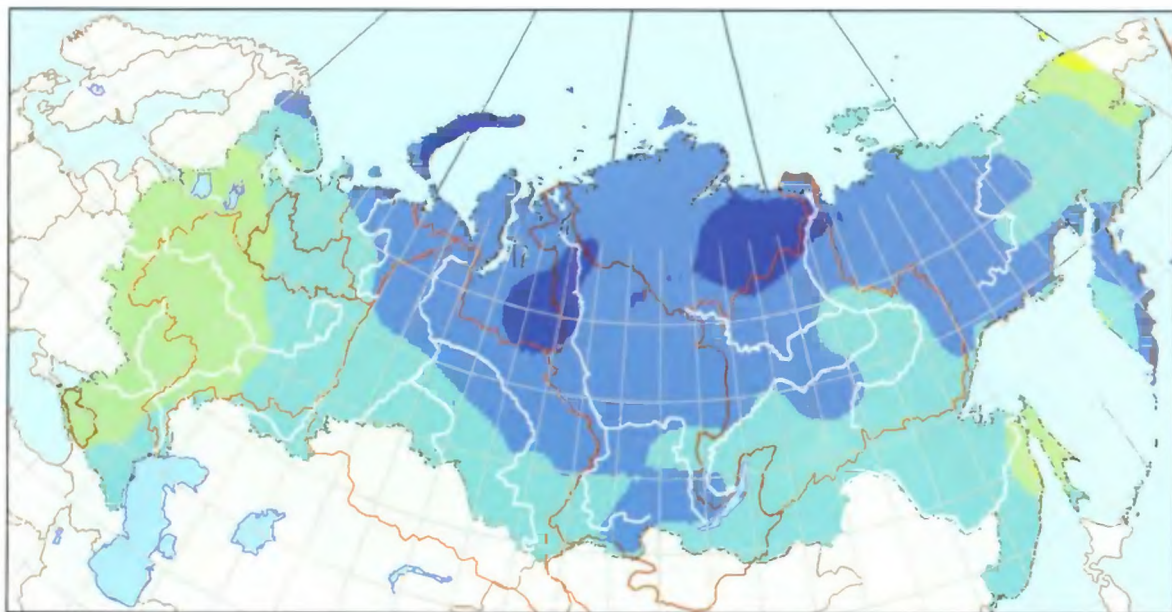


Рис. 37. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель CGCM 2.3.2, сценарий А2

а

град.



б

мм

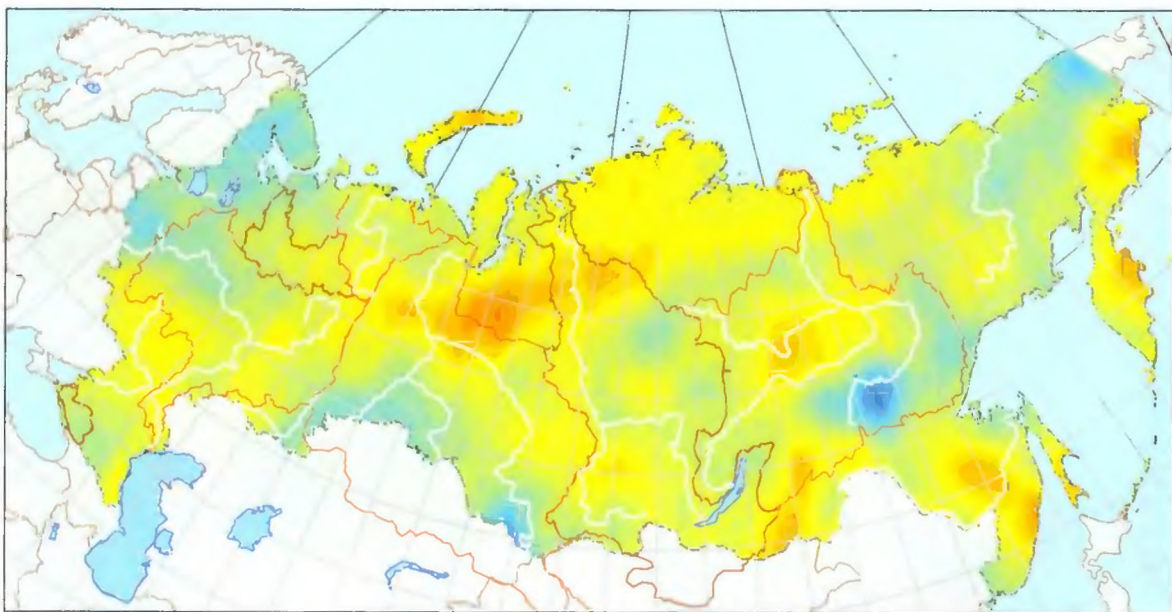


Рис. 38. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель CSIRO МКЗ, сценарий А2

а

град.



б

мм

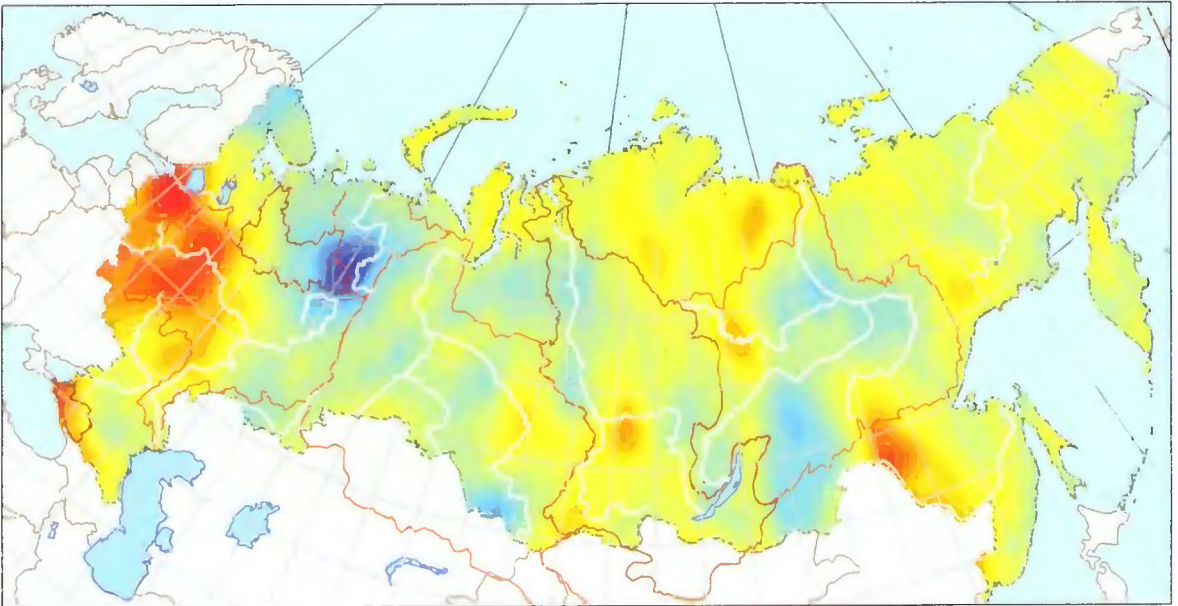
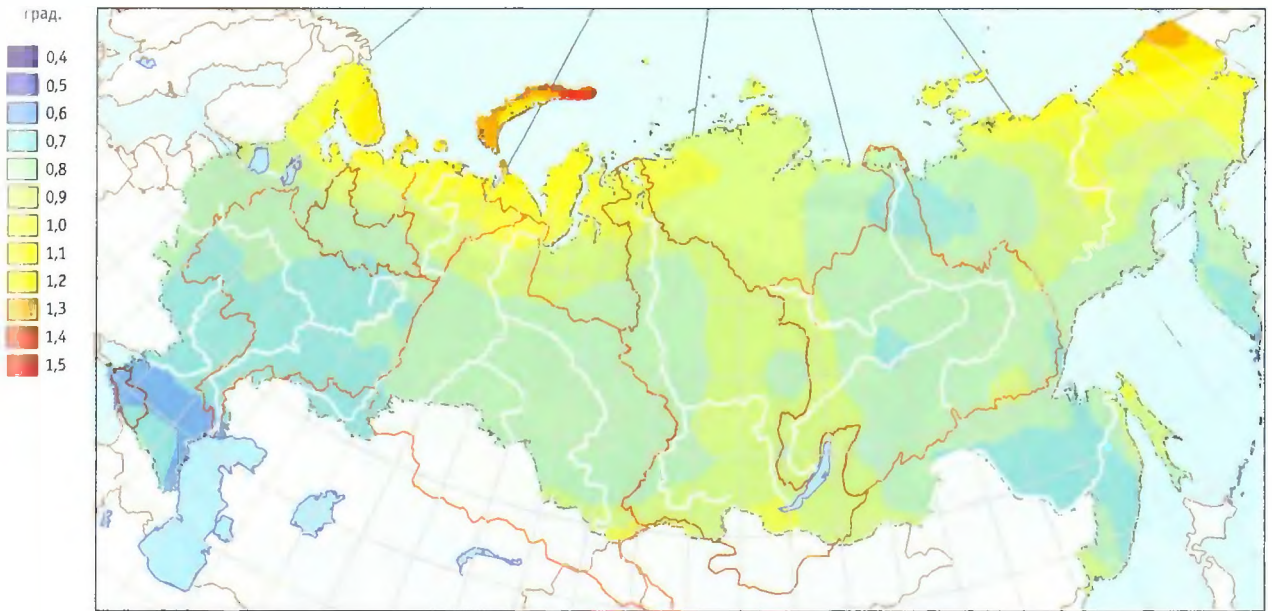


Рис. 39. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель GFDL CM 2.0, сценарий А2

а



б

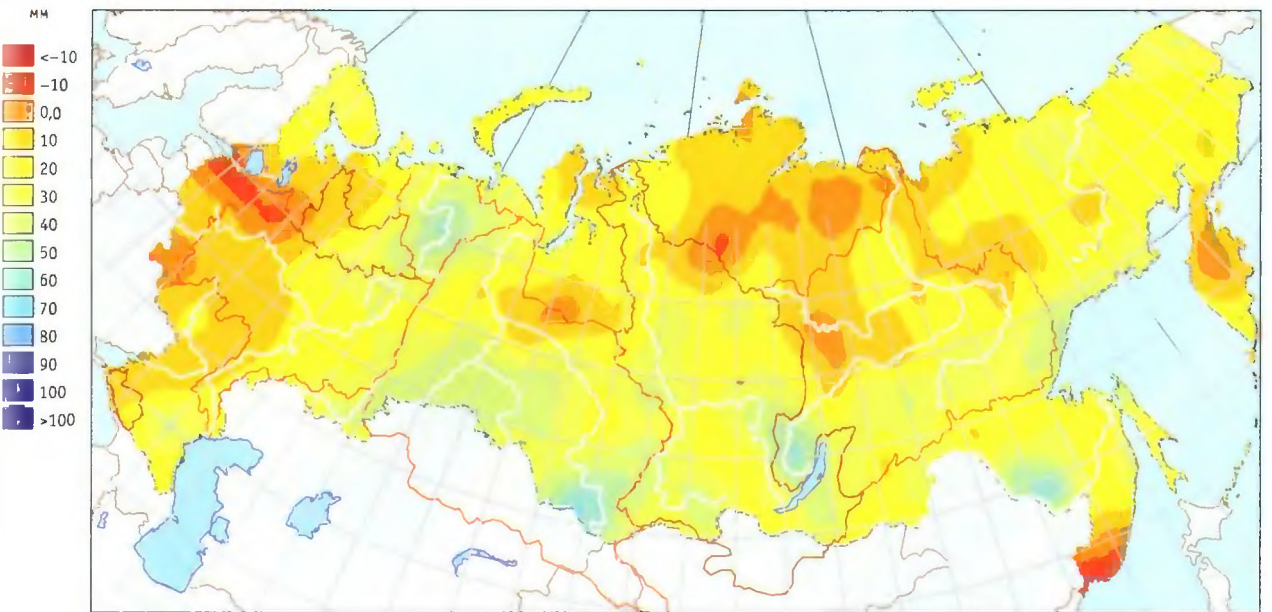


Рис 40. Изменения среднегодовых температур (а) и годовых сумм осадков (б) за период 2011–2030 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Ансамбль моделей, сценарий А2

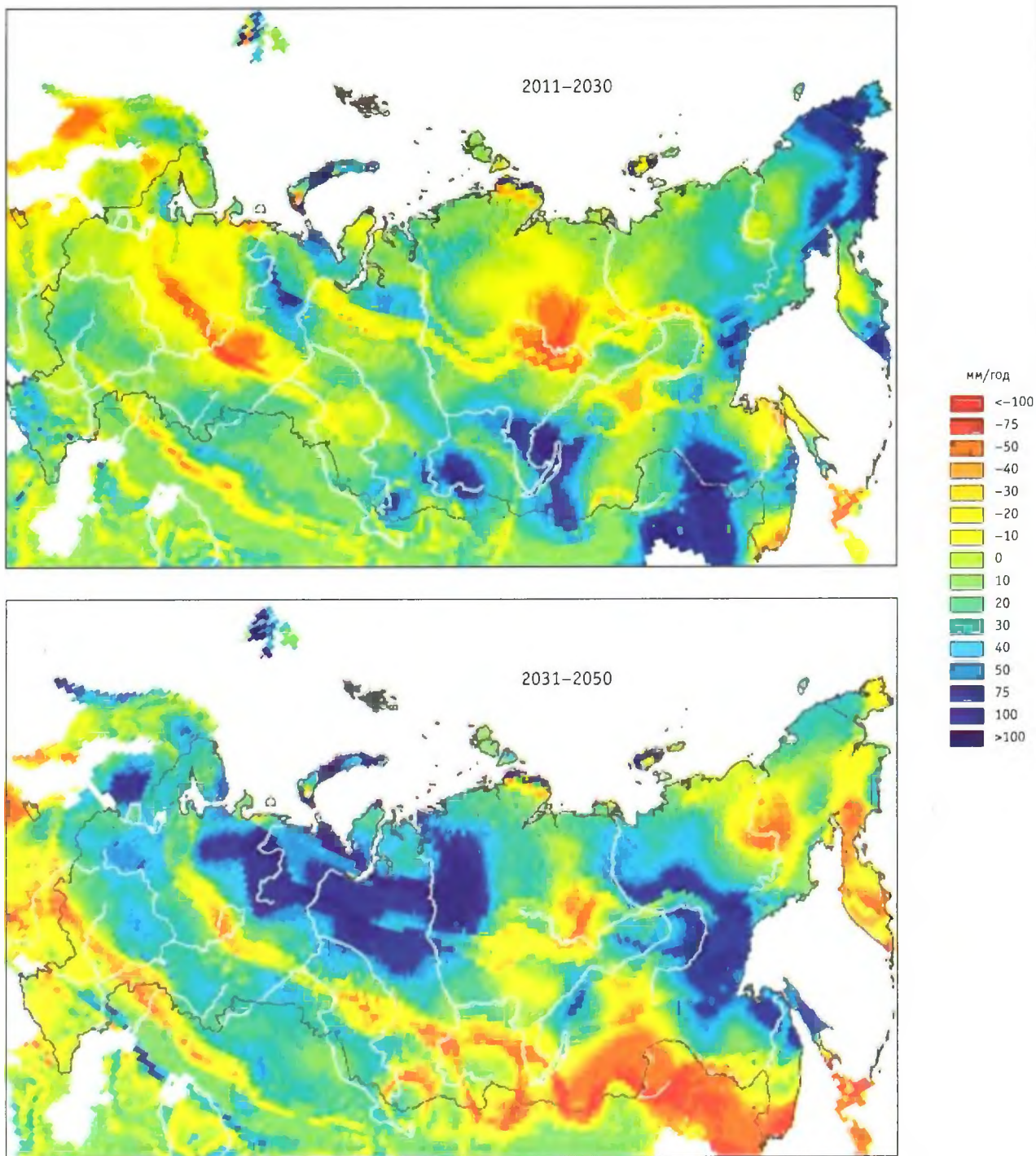


Рис. 41. Средние изменения годового стока, рассчитанные по модели WBMPlus на основе сценария ECHAM5/A2, по сравнению со средним многолетним стоком в 1961–1991 гг.

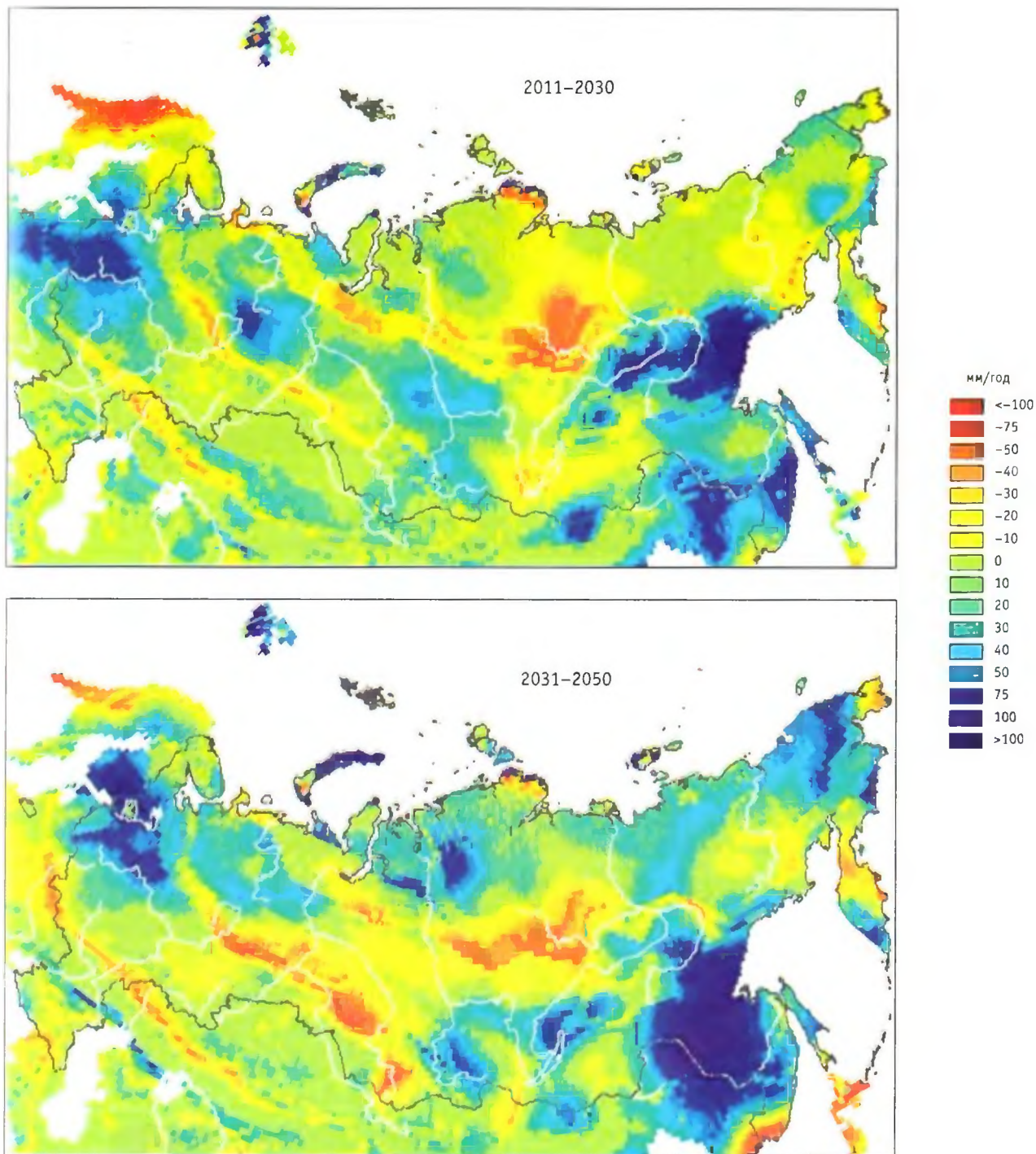
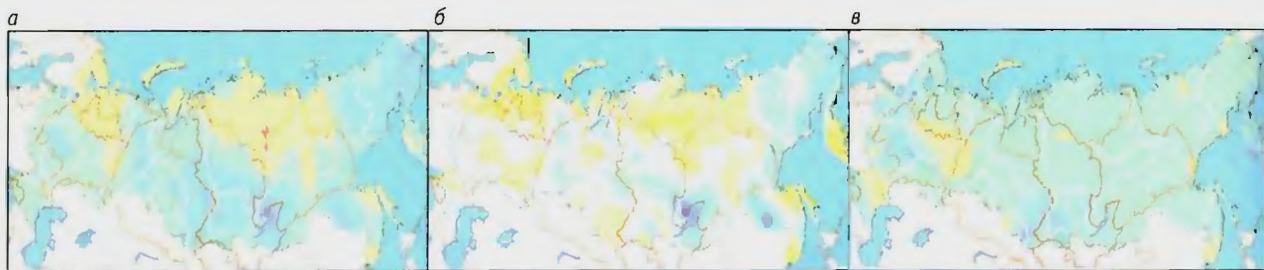
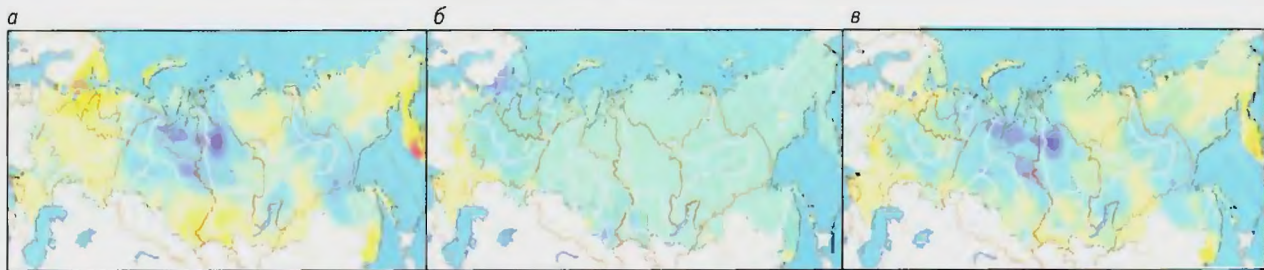


Рис. 42. Средние изменения годового стока, рассчитанные по модели WBMPlus на основе сценария ECHAM5/B1, по сравнению со средним многолетним стоком в 1961–1991 гг.



за период 2011–2030 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)



за период 2031–2050 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)

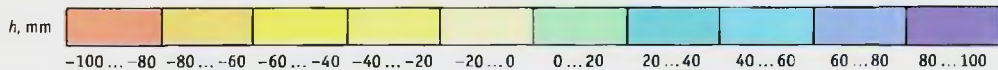
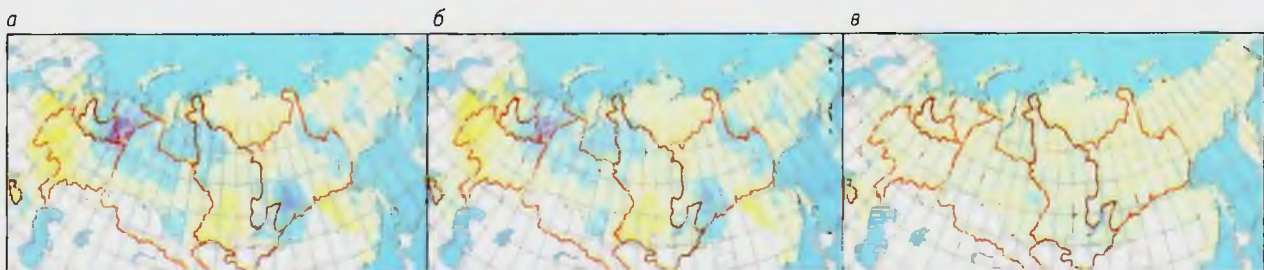
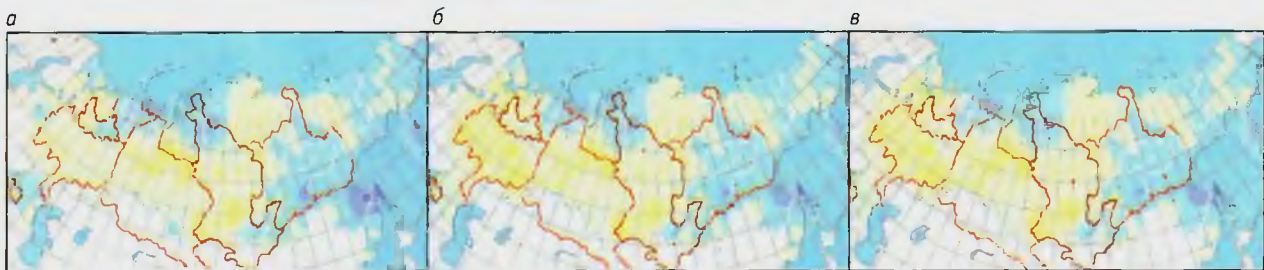


Рис. 43. Изменение слоя стока по территории России за периоды 2011–2030 и 2031–2050 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель ECHAM5-OM, сценарий A2



за период 2011–2030 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)



за период 2031–2050 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)

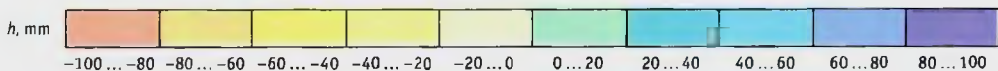
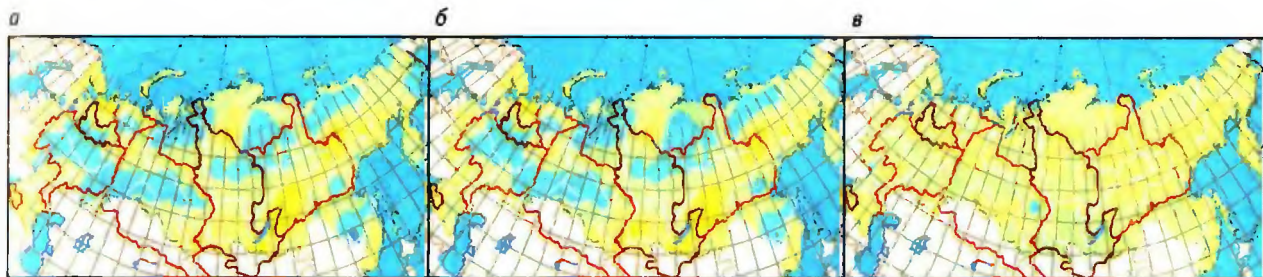
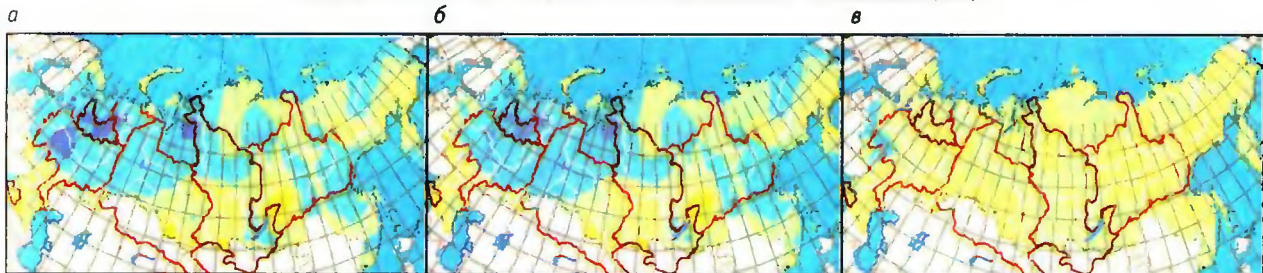


Рис. 44. Изменение слоя стока по территории России за периоды 2011–2030 и 2031–2050 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель GFDL CM2.0, сценарий A2



за период 2011–2030 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)



за период 2031–2050 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)

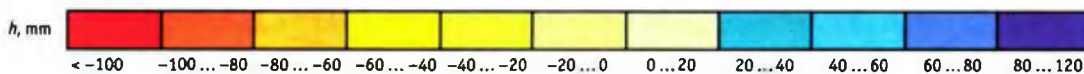
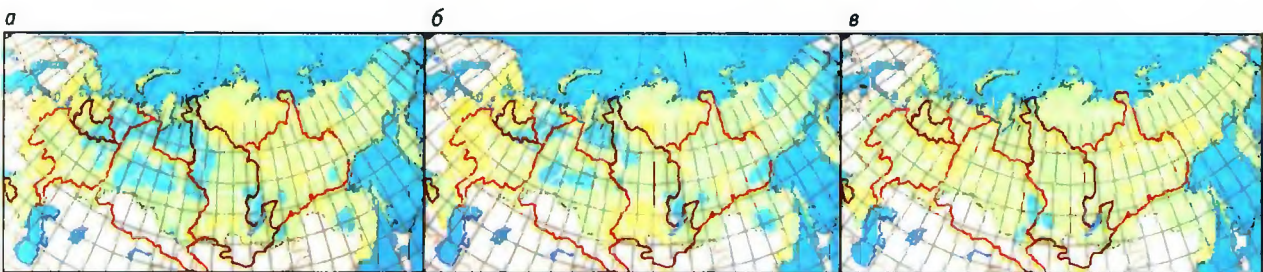
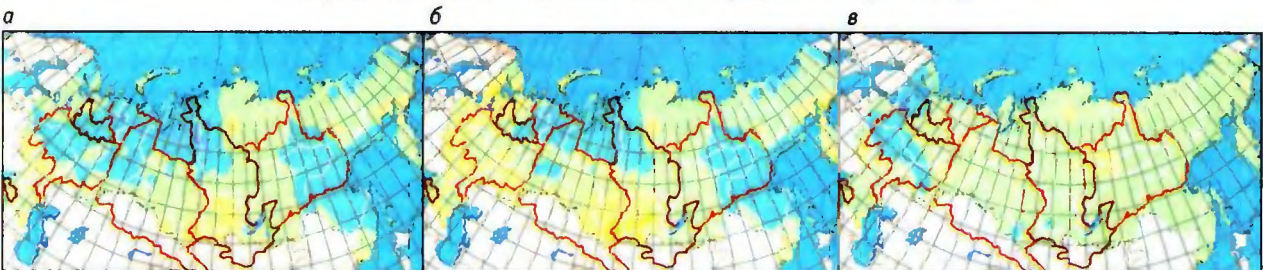


Рис. 45. Изменение слоя стока по территории России за периоды 2011–2030 и 2031–2050 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Модель CGCM MRI, сценарий A2



за период 2011–2030 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)



за период 2031–2050 гг. (а — годовой, б — за теплый период, в — за холодный период)

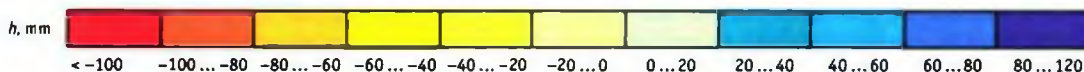


Рис. 46. Изменение слоя стока по территории России за периоды 2011–2030 и 2031–2050 гг. по отношению к периоду 1981–2000 гг. Ансамбль моделей, сценарий A2

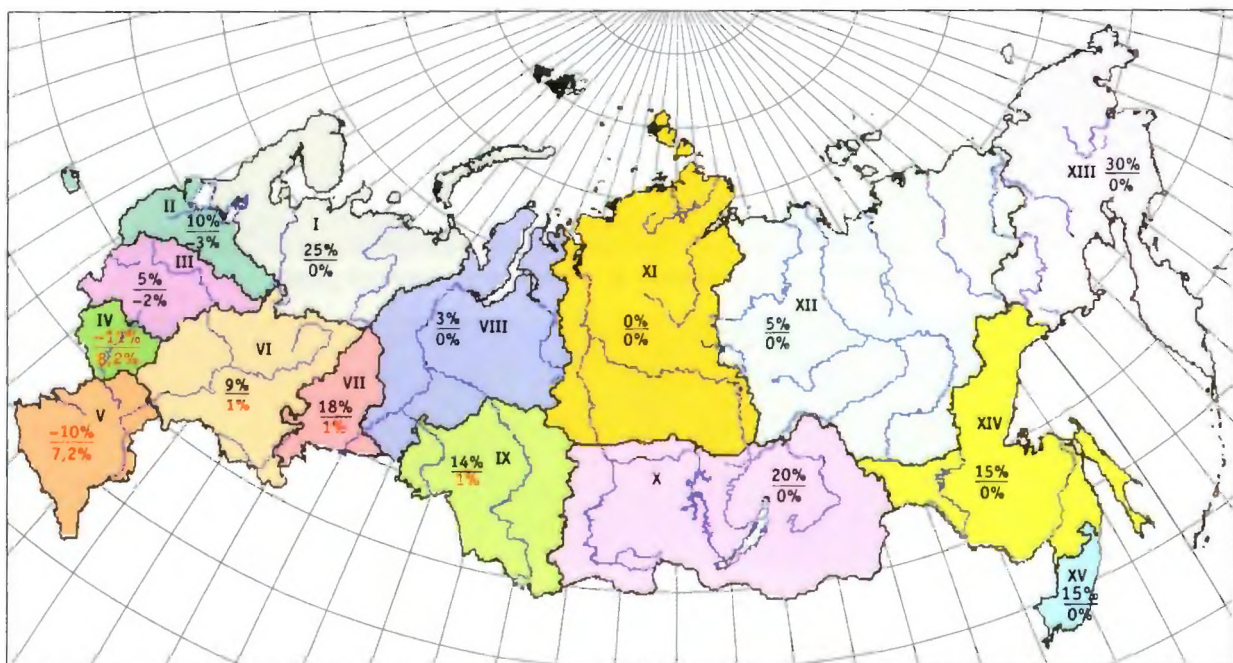


Рис. 47. Прогнозная оценка на 2015–2020 гг. изменений водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы (в % по отношению к современному уровню)

Условные обозначения: в числителе — изменение водообеспеченности; в знаменателе — изменение нагрузки на водные ресурсы

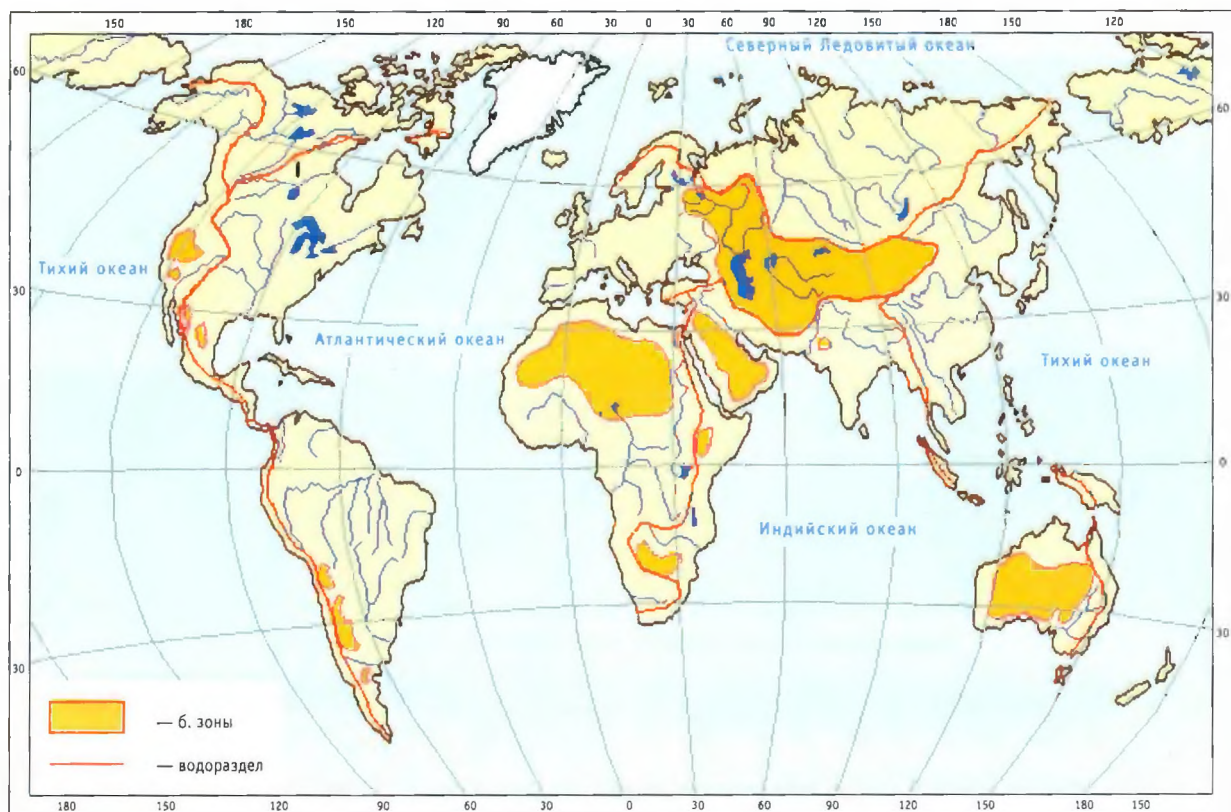


Рис. 48. Бессточные зоны Мира и главные водоразделы океанов

Глава 11

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ: ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ

11.1. ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В условиях современного социально-экономического развития и антропогенного потепления глобального климата оценка на долгосрочную перспективу возможных изменений водных ресурсов имеет исключительно большое значение для всех стран мира: для их экономического развития, решения проблем водообеспечения, повышения уровня жизни населения, сохранения окружающей среды.

Особое значение такие оценки имеют для территории России, где происшедшие и ожидаемые изменения климата более чем в два раза превышают среднемировые показатели и где в течение последних двух десятилетий происходят кардинальные преобразования в социально-экономической сфере, которые не могут не влиять на формирование и использование водных ресурсов.

Исходя из этого, в современных условиях России для перспективной оценки изменений водных ресурсов необходимо учитывать следующие основные особенности.

1. Нестандартная климатическая ситуация, начавшаяся с 1980-х гг., которая весьма существенным образом сказалась на годовом и особенно на сезонном стоке рек (см. гл. 5), и это необходимо принимать во внимание для оценок на перспективу.

2. Кардинальные изменения социально-экономической ситуации в стране, что привело к резкому падению промышленного и сельскохозяйственного производства, сокращению орошаемых и поливаемых площадей, уменьшению водопотребления на различные хозяйственные нужды; во мно-

гих регионах изменились условия формирования стока на водосборах рек, произошло значительное сокращение численности населения. И все эти процессы происходят вот уже почти в течение двух десятилетий и продолжают в настоящее время.

3. В соответствии с последними оценками климатологов (IPCC, 2007) интенсивность антропогенных изменений глобального климата продолжает увеличиваться, и воздействие этих процессов на природные и социально-экономические условия могут стать столь значительными, что их уже нельзя не учитывать при прогнозных оценках на ближайшие десятилетия. При этом в региональном плане прогнозы изменений климата, представляемые в виде климатических сценариев, получаемых на различного типа моделях общей циркуляции атмосферы (МОУА), имеют много неопределенностей и дают весьма различные результаты, особенно в отношении изменений атмосферных осадков. Причем, как правило, оценки даются на довольно отдаленную перспективу и осредненные за большой период времени (20–30 лет).

4. Важной особенностью перспективных оценок для условий России является отсутствие разработанных и официально утвержденных долгосрочных планов социально-экономического развития отдельных регионов и страны в целом, что во многом определяет характер использования водных ресурсов. В этой ситуации вряд ли целесообразно производить оценку на больший срок, чем на 10–15 лет, когда в значительной степени можно ориентироваться на экстраполяцию природных и социально-экономических процессов последних двух десятилетий.

5. Как известно, при прогнозных оценках изменений природных процессов на ближайшую пер-

спективу (в полной мере это относится и к климату, и к водным ресурсам) очень важной проблемой является учет их естественных циклических колебаний. Климатические сценарии, основанные на всех типах моделей общей циркуляции атмосферы, не учитывают циклические колебания климата, однако при прогнозах на ближайшую перспективу именно это обстоятельство может быть главной причиной неудачи прогноза. Между тем до настоящего времени не существует общепризнанных методов прогнозирования циклических колебаний климата и водных ресурсов, хотя применительно к водным ресурсам учеными сделано много попыток экспериментального характера, которые обычно основываются или на зависимостях речного стока от различных глобальных и планетарных геофизических характеристик (типов атмосферной циркуляции, солнечной активности и др.), или на анализе и учете периодичностей в многолетних рядах наблюдений за стоком.

Последние подходы наиболее разработаны в последние годы, и представляется целесообразным попытаться использовать их применительно к водным ресурсам отдельных речных бассейнов и регионов, тем более, как показано в гл. 5 и 10, для этих целей имеются довольно длительные ряды наблюдений (70–75 лет).

6. Важной особенностью перспективной оценки изменений водных ресурсов для территории России, вытекающей из государственного федерального устройства страны, является необходимость таких оценок не только для основных речных бассейнов, но и для административных территорий — субъектов Федерации (областей, краев, республик), а также Федеральных округов, которые наделены широкими полномочиями в отношении принятия решений по перспективному развитию экономики, по использованию водных ресурсов и их охране, по решению комплексных проблем водообеспечения. В этом отношении для них крайне важно иметь информацию не только по перспективным оценкам количественных характеристик поверхностных водных ресурсов, но и объективных показателей их качества, и, конечно, подземных водных ресурсов, являющихся надежной основой обеспечения питьевого водоснабжения.

Исходя из изложенного, в последующих разделах настоящей главы кратко представлены исходные данные и предпосылки, методические подходы и прогнозные оценки изменений поверхностных водных ресурсов по речным бассейнам и админи-

стративным регионам с учетом антропогенного потепления глобального климата (на основе климатических сценариев по МОЦА), за счет развития водопотребления на промышленные и коммунальные нужды, орошение и сельскохозяйственное водоснабжение. Помимо этого предпринята попытка оценки на перспективу ожидаемых изменений водных ресурсов с учетом естественных циклических колебаний речного стока на основе разработанного в ГГИ нового метода периодичностей.

В отдельных разделах настоящей главы приведены прогнозные оценки изменений подземных вод по речным бассейнам и субъектам Федерации, а также ожидаемые тенденции изменений показателей качества воды.

Все основные прогнозные оценки выполнены на ближайшую перспективу, т. е. на период до 2015–2020 гг.; на этот же период представлены данные по ожидаемому изменению водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы отдельных регионов и субъектов РФ с учетом процессов глобального потепления климата и развития водопотребления.

11.2. ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА РЕК НА ОСНОВЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ

11.2.1. Общие методологические вопросы

Проблема оценки и прогнозирования гидрологических характеристик на перспективу в несколько десятилетий всегда относилась к разделу наиболее актуальных в научной гидрологии. Она непосредственно связана с решением важнейших практических задач по планированию водообеспечения населения и экономики и соответственно с обоснованием крупных водохозяйственных мероприятий по регулированию стока, его внутрибассейновому и территориальному перераспределению и др. На протяжении XX столетия были разработаны и к настоящему времени используются практически во всех странах мира методы оценки гидрологических характеристик, основанные на применении теории вероятности. Эти методы разработаны на основе изучения закономерностей многолетних колебаний

стока и основываются на гипотезе стационарности гидроклиматических условий в прошлом и в обозримом будущем (период прогнозирования, как правило, исчисляется несколькими десятилетиями). Правомерность принятия этой гипотезы подтверждается результатами исследований колебаний стока рек мира с наиболее длительными рядами наблюдений (Yevjevitch, 1977). Применительно к рекам бывшего СССР аналогичный вывод получен А. В. Рождественским (Рождественский, 1988). Анализ динамики годового стока 300 рек России (см.: Георгиевский, 2005), также указывает на отсутствие значимых трендов в его многолетних колебаниях. Ученые (Chiew, McMahon, 1995), проанализировав динамику стока по 142 рекам по всему миру с периодом наблюдений больше 50 лет и площадями водосбора более 1000 км², пришли к заключению, что статистически значимые тренды отмечаются только в нескольких регионах и между собой не согласуются. Результаты детальных исследований, выполненных с использованием наиболее полной информации по динамике стока крупнейших рек мира и водных ресурсов природно-экономических регионов, приведенные в (Shiklomanov, Rodda 2003), показали отсутствие значимых трендов в их многолетних колебаниях.

С учетом современных реалий водохозяйственной практики, возрастающих требований к надежности оценки будущих параметров гидрологического режима водных объектов, а также последних достижений науки в области теории климата и влагооборота применительно к речным бассейнам, необходимо дополнительно рассмотреть ряд важнейших вопросов, имеющих ключевое значение в проблеме прогнозной оценки гидрологических характеристик на период до 2020 г., т. е. на перспективу 10–15 лет.

В настоящее время правомерность концепции стационарности многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик ставится под сомнение в связи с усилившимися в последние десятилетия XX в. процессами глобального потепления климата.

В соответствии с данными наблюдений на мировой метеорологической сети в последние десятилетия отмечается четкий тренд повышения глобальной температуры воздуха, причиной которого большинство климатологов считает увеличение концентрации в атмосфере «парниковых» газов. Хотя нет абсолютной уверенности в том, что это единственная причина потепления, следует признать, что

большинство климатологов придерживается именно такой точки зрения. Довольно единодушное мнение специалистов о неизбежности дальнейшего антропогенного потепления климата (хотя выводы о его интенсивности и масштабах по-прежнему имеют много разночтений) представлено, в частности, в последних обобщениях при подготовке IV Оценочного доклада IPCC (2007), удостоенного Нобелевской премии мира за 2007 г.

По заключению Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (IPCC, 2001; 2007) глобальная температура неизбежно будет повышаться и в течение настоящего столетия. Среди наиболее существенных последствий ожидаемого потепления климата будут изменения водных ресурсов и водного режима рек.

Очевидно, что изменения климатических условий неизбежно приведут, а возможно, уже и привели к изменениям гидрологических характеристик в различных речных бассейнах и регионах.

Учитывая достоверность произошедшего потепления и высокую вероятность его продолжения в течение настоящего столетия, проблема учета и адаптации к этим изменениям из общих теоретических рассуждений перешла уже в практическую плоскость. Первый шаг в этом направлении был сделан в результате подписания Киотского соглашения. Новым этапом, на наш взгляд, является единогласное принятие главами государств и правительств ЕС весной 2007 г. обязательств сократить выбросы «парниковых» газов как минимум на 20% к 2020 г., а в случае достижения глобального и всестороннего соглашения — даже на 30%. Таким образом, государствами Европейского Союза принято важнейшее политическое решение о неизбежности дальнейших антропогенных климатических изменений. Оно основано на следующем основополагающем постулате: даже если усилия мирового сообщества по сокращению выбросов парниковых газов окажутся успешными, все равно климатические изменения будут происходить в течение этого столетия и после него. Следовательно, наряду с мерами по смягчению антропогенных изменений климата необходимо адаптироваться и к их последствиям. Однако все это имеет отношение к весьма отдаленной перспективе, уже за пределами 2050 г.

Насколько же ощутимы произошедшие изменения климата на территории Российской Федерации, и как практически учесть их на будущее, в частности, на ближайшие 10–15 лет? В соответствии

с данными Росгидромета (Обзор загрязнения... 2007) за последние 100 лет общее потепление составило $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ для России, что на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше, чем в среднем для Земного шара. За период 1976–2006 гг. эта величина составила около $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наиболее интенсивное потепление в 1976–2006 гг. было на европейской части России ($0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье ($0,46\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет). В зимний и весенний периоды интенсивность потепления в европейской части России достигла $0,68\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, а в осенний период в регионе Северо-Восток — даже $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. На фоне происходящего потепления в последние десятилетия на преобладающей части территории страны наблюдаются положительные аномалии годовых сумм осадков. Анализ многолетней динамики сезонного и месячного стока (см. разд. 5.4) позволил выявить особенности его изменений в 1978–2005 гг. В этот период увеличились водные ресурсы большинства рек страны, произошли значительные изменения во внутригодовом распределении стока, отмечен ряд аномальных гидрологических явлений.

С учетом вышеизложенного рассмотрим возможные подходы к оценке водных ресурсов и водного режима рек на ближайшее будущее. В условиях изменяющегося климата при оценках водных ресурсов на перспективу возможны несколько вариантов, рассматриваемых ниже.

1. Поскольку в последние десятилетия на территории страны наблюдаются значительные изменения температуры воздуха, осадков, и, как следствие, гидрологического режима рек, то можно в принципе оценить характеристики стока по данным наблюдений за этот период и принять их в качестве прогнозных на перспективу. Однако возможная реализация такого подхода вызывает сомнение, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, продолжительность данной выборки крайне недостаточна для таких оценок, а во-вторых — это главное — вполне возможно, что наблюдаемый многолетний период повышенной водности обусловлен естественными циклическими колебаниями стока, на который наложилась составляющая, обусловленная антропогенными изменениями климата. Хорошо известно, что в колебаниях природных процессов присутствуют циклы различной продолжительности, которые можно выявить лишь при наличии очень длительных рядов наблюдений (порядка сотен лет).

На современном уровне развития науки невозможно объективно выделить в происходящих из-

менениях вклад естественных циклических флуктуаций климата и антропогенную составляющую, что может повлечь очень значительные ошибки при практическом использовании этих результатов в водохозяйственной практике. Принятие на будущие 10–15 лет прогноза, что годовой сток большинства рек РФ будет столь же высоким, как и в последние десятилетия, и соответственно значительно улучшится водообеспеченность, по нашему мнению, было бы легкомысленным и чрезвычайно рискованным.

2. В настоящее время наиболее перспективным считается моделирование климата будущего с помощью соответствующих моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), разрабатываемых в научных центрах многих стран. Модели основываются на фундаментальных физических законах и учитывают динамические, термодинамические и гидрометеорологические процессы, происходящие в атмосфере и при ее взаимодействии с океаном и суши. Климатические модели постоянно совершенствуются и удовлетворительно воспроизводят некоторые параметры изменений климата, особенно для обширных территорий глобального масштаба.

Для оценки характеристик гидрологического режима на ближайшие 10–15 лет можно было бы напрямую использовать результаты расчетов комплекса метеорологических параметров на основе МОЦАО. Эти параметры будут считаться исходными для различного рода гидрологических моделей, в результате чего будут получены расчетные характеристики водного режима.

Следует отметить, что МОЦАО основаны на общих закономерностях глобальной атмосферной циркуляции и имеют недостаточно подробное пространственное разрешение (от $2,25$ до $3,80$ градусов по широте и от $2,80$ до $5,60$ — по долготе), а потому они недостаточно учитывают географические особенности территорий (береговая линия, озера, горные хребты и т. д.).

Характерной особенностью всех МОЦАО является также их неспособность реалистично воспроизводить климатические параметры за интервалы времени менее 20 лет, в результате чрезвычайно большой флуктуации получаемых характеристик за отдельные годы, не говоря уже о неучете естественных циклических колебаний. Относительно удовлетворительные результаты проявляются лишь при осреднении за 20–30 лет и более. Поэтому наблюдаются значительные расхождения в прогнозах

климата на региональном уровне, даже если они выполняются в рамках одного сценария выброса парниковых газов.

При современном состоянии развития моделей климата они пока не могут обеспечить надежные прогнозы региональных и сезонных изменений климатических условий. В настоящее время климатологи только приступают к исследованиям, как использовать МОЦАО для оценок на самую ближайшую перспективу для небольших регионов, сейчас же они предпочитают прогнозы, по крайней мере на середину или конец XXI в. для крупных территорий.

Необходимо отметить, что помимо климатических сценариев, разрабатываемых по МОЦАО, для оценок будущих климатических условий используются и палеоклиматические сценарии, основанные на реконструкции климата прошлых эпох. Основная идея использования палеоклиматических данных для оценок будущего климата заключается в том, что в прошлом Земли отыскиваются периоды, которые по концентрации CO_2 в атмосфере были близки к концентрациям, прогнозируемым на перспективу, и климатические данные этого периода используются для описания будущего климата. Для условий повышения средней глобальной температуры воздуха на 1,0 и 1,5–2,0 °C в качестве палеоклиматических аналогов принимаются климатические условия оптимума голоцена и условия последней межледниковой эпохи. Однако эмпирический подход имеет ряд существенных недостатков. Так, очевидно, что по некоторым параметрам климаты теплых эпох прошлого отличаются от ожидаемых климатических условий будущего.

3. На современном этапе наиболее перспективным представляется подход к оценке основных гидрологических характеристик на перспективу, заключающийся в совместном использовании как многолетних данных наблюдений за стоком, так и результатов расчетов современных и ожидаемых климатических условий, полученных по МОЦАО. Как было показано в разд. 5.4, многолетние изменения водности рек пока происходят, несмотря на наличие существенных положительных трендов, в пределах естественной изменчивости и в общем не противоречат гипотезе стационарности. Поэтому для определения водных ресурсов вполне допустимо использовать данные наблюдений за многолетний период с учетом выявленных современных тенденций, а расчеты по климатическим сценариям, полученные на основе МОЦАО, как

дополнительную информацию, по которой могут уточняться те или иные характеристики, определенные по многолетнему ряду.

Как следует из проведенного в этом разделе анализа, прогноз (оценка) гидрологических характеристик на ближайшие 10–15 лет с учетом нестационарности климата содержит значительное число объективных трудностей. Тем не менее, несмотря на неясность и неопределенность ожидаемых в будущем антропогенных изменений климата, водохозяйственная стратегия, как и раньше, должна базироваться на максимальном использовании данных многолетних наблюдений за режимом речного стока и определяющими его факторами.

Исходя из вышеизложенного, полученные к настоящему времени оценки климатических условий будущего нельзя рассматривать как прогноз, а только как возможные сценарии будущего климата.

11.2.2. Анализ и выбор климатических сценариев

К настоящему времени сформировалось два подхода к использованию климатических сценариев, полученных по МОЦАО. В соответствии с первым из них, исходя из того, что ни одна из современных моделей не может быть признана удовлетворяющей современным требованиям с точки зрения точности воспроизведения современного климата, для оценок возможных в перспективе его характеристик рекомендуется использовать ансамбль из нескольких моделей (Мелешко и др., 2005). Второй подход заключается в выборе моделей, которые наиболее адекватно и точно восстанавливают особенности вариации климатических условий, имевших место в последние десятилетия как в целом по Земному шару, так и применительно к отдельным крупным регионам (Менжулин и др., 2005).

Рост концентрации парниковых газов в атмосфере будет продолжаться в будущем с интенсивностью, определяемой сценариями развития энергетики и промышленности в мире, а также мероприятиями, проводимыми в разных странах по ограничению выброса в атмосферу углекислого и других сопутствующих газов. Поскольку прогнозирование экономического и социального развития в мировом масштабе содержит много неопределенностей, диапазон сценариев выброса парниковых газов весьма широк (см. цв. вкл., рис. 33).

Нами была проанализирована возможность использования климатических сценариев будущего по ряду современных МОЦАО, рассмотренных в IV оценочном докладе МГЭИК (IPCC, 2007), для оценки возможных изменений температуры воздуха и осадков на территории России на ближайшие два десятилетия. Были использованы результаты расчетов по моделям ECHAM5-OM (Германия), HadCM3 (Великобритания), MR CGCM 2.3.2 (Япония), CSIRO MK3 (Австралия), GFDL CM 2.0 (США).

В качестве сценариев выброса парниковых газов рассматривались варианты A2 и B1 (см. цв. вкл., рис. 33). В сценарии A2 дается описание очень неоднородного мира. основополагающей темой является самообеспечение и сохранение местной самообеспеченности. Показатели рождаемости в разных регионах очень медленно сближаются, результатом чего является постоянный рост общей численности населения. Экономическое развитие имеет, главным образом, региональную направленность, а экономический рост в расчете на душу населения и технологические изменения являются более фрагментарными и медленными по сравнению с другими сюжетными линиями. Сценарий B1 содержит описание движущегося в одном направлении мира с тем же самым глобальным населением, которое достигает максимальной численности в середине века, а затем уменьшается, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики с уменьшением материальной интенсивности и внедрением чистых и ресурсосберегающих технологий. Главное внимание уделяется глобальным решениям экономической, социальной и экологической устойчивости, включая большую справедливость, но без дополнительных инициатив, связанных с климатом.

Отметим, что для первой трети настоящего столетия различия между этими сценариями являются незначительными, а затем возрастают, особенно к концу столетия.

В соответствии с оценками, выполненными в работе (Менжулин и др., 2005), наиболее точное воспроизведение термического режима и режима осадков в целом для территории России давала модель ECHAM4 (Германия). Вместе с тем, авторы статьи указывают, что эти оценки ограничены только многолетними средними месячными значениями температуры воздуха и осадков. Есть основания полагать, что усовершенствованная модель ECHAM5 не хуже своих предшественниц.

Современные климатические сценарии, получаемые от IPCC через Интернет (IPCC DDC, 2007), представлены в виде ежемесячных расчетных значений ряда метеопараметров по узлам регулярных глобальных сеток за период 200 лет — с 1901 по 2100 г. Исходя из динамики концентрации парниковых газов в атмосфере, представлены следующие варианты (см. цв. вкл., рис. 34):

— 20c3m — модель климата XX в. при фактической концентрации парниковых газов;

— Committed — модель климата XXI в. при концентрации парниковых газов на уровне 2000 г.;

— различные варианты климата XXI в. при различных сценариях эмиссии парниковых газов.

По данным модельных расчетов применительно к территории России нами были определены средние за 2011–2030 гг. (прогнозный период) и 1981–2000 гг. (базовый период) величины метеорологических параметров в узлах регулярной сетки. Далее рассчитаны их изменения для прогнозного периода относительно базового. По этим данным строились и анализировались карты аномалий среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков. На рисунках (см. цв. вкл., рис. 35–40) приведены карты таких аномалий отдельно для пяти МОЦАО при сценарии эмиссии парниковых газов A2, а также осредненных аномалий по ансамблю из этих моделей (см. цв. вкл., рис. 40).

В целом по территории России по всем моделям наблюдается увеличение годовых сумм осадков и повышение среднегодовых температур воздуха. Однако по разным моделям результаты сильно различаются, особенно это касается аномалий осадков — они варьируют от -100 до $+170$ мм/год.

По результатам, полученным для модели ECHAM5, на ближайшие два десятилетия ожидается небольшое (около 20 мм) уменьшение годовых сумм осадков в низовьях р. Лена и по бассейнам рек Хатанга, Оленёк и Анабар. По всей остальной территории России ожидается увеличение осадков, особенно заметное в верховьях Енисея, Ангары и Амура (более 100 мм). Рост годовых осадков ожидается и по всей Европейской территории России, особенно большой в бассейне р. Печора (до 90 мм).

Несколько иную картину представляют результаты по модели HadCM3, согласно которой ожидается уменьшение годовых осадков (до -40 мм) по всей северо-западной части России. На остальной территории ожидается небольшое (до 10 мм) увеличение осадков, достигающее максимальных зна-

чений (до 70–100 мм) в бассейнах Печоры и Амура, в верховьях Енисея, Ангары и Лены.

Модель CGCM представляет небольшое увеличение годовых сумм осадков (0–10 мм) по всей территории России, достигающее максимальных значений (до 70 мм) в верховьях Оби и Амура. Уменьшение осадков ожидается лишь в низовьях Север-

ной Двины — до –70 мм — и в среднем течении Лены.

Рост годовых сумм осадков на большей части территории России (10–20 мм) демонстрирует и модель CSIRO. Наибольшее увеличение (до 60–70 мм) ожидается в верховьях Волги, Оби и Лены, а также на северо-западе страны.

Таблица 11.1

Изменения температуры приземного воздуха (в °С) в первой половине XXI столетия на водосборах крупнейших рек России по отношению к значениям для базового климатического периода 1981–2000 гг.

Река	Модель	A2						B1					
		2011–2030			2031–2050			2011–2030			2031–2050		
		Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
Северная Двина	ECHAM5-OM	0,9	0,8	1,2	1,9	0,8	3,5	1,0	0,6	1,5	2,2	1,5	3,1
	HadCM3	1,1	1,0	1,2	2,4	2,1	2,9	1,3	1,4	1,3	1,9	1,8	2,0
	GFDL CM2.0	0,9	0,6	1,4	1,8	1,5	2,2	1,3	1,0	1,6	1,9	1,3	2,8
	CSIRO Mk3.0	0,9	0,7	1,2	1,7	0,9	2,9	0,7	0,0	1,6	1,5	0,4	3,0
	CGCM 2.3.2	–0,1	–0,1	–0,1	0,4	0,1	0,8	0,3	0,2	0,4	0,5	0,6	0,4
	Среднее	0,8	0,6	1,0	1,7	1,1	2,5	0,9	0,6	1,3	1,6	1,1	2,3
Волга	ECHAM5-OM	0,7	0,6	0,8	1,8	0,9	3,1	1,1	0,8	1,7	1,8	1,4	2,5
	HadCM3	1,0	1,1	0,9	2,2	2,2	2,1	1,5	1,6	1,2	2,0	2,1	1,8
	GFDL CM2.0	0,7	0,6	0,8	1,6	1,5	1,6	1,0	1,0	1,1	1,7	1,5	2,1
	CSIRO Mk3.0	1,0	0,9	1,1	1,7	1,3	2,2	0,7	0,3	1,2	1,4	0,7	2,4
	CGCM 2.3.2	0,0	–0,1	0,2	0,5	0,3	0,9	0,3	0,2	0,5	0,5	0,6	0,4
	Среднее	0,7	0,6	0,8	1,6	1,2	2,0	0,9	0,8	1,1	1,5	1,2	1,8
Енисей	ECHAM5-OM	1,2	0,8	1,9	2,3	1,5	3,3	1,0	0,5	1,7	1,7	1,2	2,4
	HadCM3	0,8	0,8	0,8	1,7	1,7	1,8	0,5	0,5	0,5	1,7	1,4	2,2
	GFDL CM2.0	1,3	1,1	1,5	1,7	1,6	1,9	1,2	1,3	1,0	1,9	1,7	2,1
	CSIRO Mk3.0	0,3	0,3	0,3	1,1	1,0	1,2	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4
	CGCM 2.3.2	0,6	0,3	0,9	1,1	0,8	1,6	0,9	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1
	Среднее	0,8	0,7	1,1	1,6	1,3	1,9	0,8	0,7	1,0	1,4	1,2	1,6
Лена	ECHAM5-OM	1,2	1,1	1,4	2,0	1,5	2,7	0,7	0,6	1,0	1,6	1,3	2,1
	HadCM3	0,7	0,6	0,9	1,9	1,7	2,3	1,0	0,7	1,4	1,8	1,4	2,3
	GFDL CM2.0	1,1	0,9	1,3	1,6	1,3	2,1	1,1	1,0	1,2	1,6	1,2	2,2
	CSIRO Mk3.0	0,4	0,4	0,5	1,0	0,8	1,2	0,2	0,0	0,5	0,4	0,5	0,2
	CGCM 2.3.2	0,4	0,1	0,7	1,1	0,8	1,7	0,9	0,6	1,2	1,0	0,9	1,2
	Среднее	0,8	0,6	1,0	1,5	1,2	2,0	0,8	0,6	1,0	1,3	1,0	1,6
Обь	ECHAM5-OM	1,1	0,6	1,7	2,2	1,4	3,2	1,0	0,6	1,7	1,8	1,5	2,3
	HadCM3	1,2	1,2	1,2	2,2	2,3	2,0	1,0	1,2	0,7	2,1	2,1	2,2
	GFDL CM2.0	0,9	0,9	1,0	1,9	2,0	1,8	1,2	1,4	0,9	1,8	1,8	1,9
	CSIRO Mk3.0	0,5	0,6	0,4	1,4	1,4	1,4	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,9
	CGCM 2.3.2	0,2	0,0	0,4	0,7	0,6	0,9	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
	Среднее	0,8	0,7	0,9	1,7	1,6	1,9	0,9	0,8	0,9	1,4	1,3	1,5
Печора	ECHAM5-OM	1,4	1,1	1,8	2,3	1,1	4,0	1,3	0,9	1,9	2,6	2,0	3,4
	HadCM3	1,6	1,2	2,2	3,0	2,4	3,9	1,4	1,4	1,5	2,4	2,1	2,8
	GFDL CM2.0	1,2	0,8	1,9	2,3	1,8	2,9	1,5	1,2	1,8	2,0	1,4	3,0
	CSIRO Mk3.0	0,5	0,5	0,4	1,6	0,8	2,8	0,6	0,0	1,3	1,0	0,1	2,2
	CGCM 2.3.2	–0,2	–0,3	–0,1	0,3	0,1	0,6	0,2	0,2	0,1	0,7	0,7	0,6
	Среднее	0,9	0,7	1,2	1,9	1,3	2,8	1,0	0,8	1,3	1,7	1,3	2,4

Изменения осадков (в мм) в первой половине XXI столетия на водосборах крупнейших рек России по отношению к значениям для базового климатического периода 1981–2000 гг.

Река	Модель	A2						B1					
		2011–2030			2031–2050			2011–2030			2031–2050		
		Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
Северная Двина	ECHAM5-OM	18	6	12	76	37	39	46	27	19	88	39	49
	HadCM3	-12	-22	9	20	1	19	13	-6	19	40	19	20
	GFDL CM2.0	42	36	6	33	33	0	50	40	10	53	29	24
	CSIRO Mk3.0	20	12	7	20	7	13	6	0	6	16	1	14
	CGCM 2.3.2	2	-4	6	40	23	17	19	4	15	36	18	18
	Среднее	14	6	8	38	20	18	27	13	14	46	21	25
Волга	ECHAM5-OM	29	23	7	63	30	33	54	25	29	64	41	24
	HadCM3	-18	-16	-2	-8	-6	-2	-19	-19	0	-6	-19	13
	GFDL CM2.0	-2	-2	0	20	8	12	31	22	9	42	21	21
	CSIRO Mk3.0	21	13	8	9	9	1	-12	-7	-5	1	0	1
	CGCM 2.3.2	19	0	18	36	20	16	31	13	18	27	11	16
	Среднее	10	4	6	24	12	12	17	7	10	26	11	15
Енисей	ECHAM5-OM	40	22	19	47	24	24	20	6	13	34	17	18
	HadCM3	14	14	0	19	14	6	15	11	4	31	18	13
	GFDL CM2.0	18	7	11	16	3	13	9	2	7	25	14	11
	CSIRO Mk3.0	11	8	3	20	17	3	0	-1	1	8	4	4
	CGCM 2.3.2	15	6	9	33	22	12	19	14	5	28	21	7
	Среднее	20	11	8	27	16	11	13	6	6	25	15	11
Лена	ECHAM5-OM	11	3	8	40	28	12	20	14	6	28	17	11
	HadCM3	19	17	2	32	26	6	22	16	5	36	28	9
	GFDL CM2.0	29	21	7	34	26	8	34	27	7	41	33	8
	CSIRO Mk3.0	19	14	5	36	30	6	8	6	2	6	3	3
	CGCM 2.3.2	1	-4	5	18	12	6	-4	-6	2	1	-1	2
	Среднее	16	10	6	32	24	8	16	12	4	22	16	6
Обь	ECHAM5-OM	40	23	17	57	25	31	33	16	16	29	14	15
	HadCM3	9	6	2	3	-3	6	-3	-10	7	12	-3	14
	GFDL CM2.0	31	19	12	4	-11	15	9	0	9	24	8	17
	CSIRO Mk3.0	25	12	12	1	-1	2	-7	-6	-1	7	3	4
	CGCM 2.3.2	32	20	12	39	24	14	37	29	9	56	36	20
	Среднее	27	16	11	21	7	14	14	6	8	26	12	14
Печора	ECHAM5-OM	46	34	11	97	54	43	38	21	16	71	27	44
	HadCM3	34	18	17	49	29	20	23	8	15	67	47	20
	GFDL CM2.0	64	48	15	56	39	17	47	25	22	44	24	20
	CSIRO Mk3.0	19	21	-2	26	16	10	15	12	2	17	2	14
	CGCM 2.3.2	0	0	0	29	14	15	2	-2	4	17	10	8
	Среднее	33	24	8	52	30	21	25	13	12	43	22	21

Модель GFDL по своим результатам в основном совпадает с моделью HadCM3 и показывает значительное уменьшение годовых осадков (до -50 мм) по северо-западу России. Заметное увеличение осадков ожидается в бассейнах Лены, Оби (до 50–60 мм) и достигает своих максимальных значений в бассейне Печоры (до 120 мм).

Расчитанные средние аномалии осадков по ансамблю из пяти вышеперечисленных моделей позволяют говорить об устойчивом увеличении осадков в пределах 20–30 мм/год, которое ожидается по всей территории России, с некоторым уменьшением этих значений (до 0–10 мм) на северо-западе, на водосборах рек Хатанга, Оленёк, Ана-

бар и в низовьях Лены. Диапазон изменения годовых сумм осадков здесь уже значительно меньше и варьирует от -15 до $+60$ мм.

Аномалии среднегодовых температур воздуха, полученные по каждой из пяти отобранных моделей, обладают значительно меньшей изменчивостью по территории страны, чем аномалии осадков, показывают устойчивое повышение их значений, несколько различаются лишь в деталях и в величинах их изменения. Наибольший диапазон изменения значений температур был получен по модели ECHAM5 (от 0 до $+4$ °C), наименьший — по модели CGCM (от $-0,3$ до $+1,7$ °C).

Из результатов модели ECHAM5 можно выделить следующее — наибольшее увеличение температур в северной части России, в низовьях Печоры, Оби и Енисея (до 2 °C). Наименьшие изменения температур следует ожидать в северо-западной и южной части страны и в бассейне Волги (около $0,5$ °C).

Несколько иное распределение аномалий среднегодовых температур воздуха демонстрирует модель HadCM3. Максимальное потепление на 2 °C ожидается в бассейне р. Печора, несколько меньшие изменения (около 1 °C) — в бассейнах Енисея и Лены, минимальные (лишь $0,5$ °C) — в верховьях Ангары и Лены. Однако и эта модель, как и все отобранные для анализа, показывает устойчивое увеличение температур.

Модель CGCM представляет наименьшие аномалии температур. Почти по всей европейской территории России здесь почти не ожидается никаких изменений. По всей азиатской части — небольшое увеличение на $0,5$ °C, максимальные изменения — до 1 °C — в верховьях Енисея и Лены.

Обратное распределение аномалий температур демонстрирует модель CSIRO. Здесь максимальные увеличения температур (до $1,5$ °C) наблюдаются в северо-западной части России и в бассейне Волги, отсутствие изменений — в низовьях рек Енисей, Оленёк, Анабар и Лена, наименьшие изменения — по северу азиатской части России.

Уверенное потепление на $1,5$ °C по всей территории России показывают результаты, полученные по модели GFDL. Несколько уменьшаются аномалии температур в среднем течении Лены, в верховьях Волги, Северной Двины и Оби (до 1 °C). Отсутствие аномалий будет в низовьях Волги. Наибольшее же потепление ожидается в Карелии — до 2 °C.

По усредненному варианту из пяти моделей получен очень небольшой диапазон аномалий сред-

негодовых температур воздуха. Эти изменения варьируют от $+0,4$ до $+1,5$ °C и демонстрируют устойчивое потепление в среднем на 1 °C по всей территории России. Наименьшее увеличение температур наблюдается на водосборах Волги, Амура и в низовьях Лены (около $0,7$ °C), наибольшее — в северной и северо-западной частях России (до $1,2$ °C).

Для выявления сезонных аномалий температуры воздуха и осадков, а также дальнейших возможных тенденций изменения климата на территории России нами были проанализированы аномалии годовых и сезонных температуры воздуха и сумм осадков по пяти рассмотренным МОЦАО за следующее после рассмотренного 20-летие — с 2031 по 2050 г.

В табл. 11.1 и 11.2 приведены величины аномалий соответственно температуры воздуха и сумм осадков (годовых и сезонных) по пяти рассмотренным МОЦАО (и средних по ним), двум сценариям эмиссии парниковых газов и двум прогнозным периодам для водосборов крупнейших рек России. В соответствии с оценками изменений приземной температуры воздуха, полученными по ансамблю из пяти МОЦАО, в 2011–2030 гг. среднегодовая температура в рассматриваемых бассейнах будет на $0,7$ – $1,0$ °C выше, чем в 1981–2000 гг.

При этом наиболее значительное потепление будет происходить в холодный период года. В следующем двадцатилетии ожидается дальнейшее потепление — повышение среднегодовых температур составит уже $1,5$ – $1,9$ °C. Ожидаемое в первой половине XXI столетия потепление будет сопровождаться ростом осадков. В 2011–2030 гг. увеличение годовых сумм осадков составит от 10 – 17 мм/год в среднем для бассейна Волги до 25 – 33 мм/год — для бассейна Печоры. К середине столетия предполагается дальнейший рост осадков (до 40 – 50 мм в бассейне Северной Двины и Печоры).

11.2.3. Ожидаемые изменения годового и сезонного стока в основных речных бассейнах

Исследования по оценке возможного диапазона изменений характеристик водного режима при вероятных климатических сценариях ближайших десятилетий проводились в ГГИ со времени появления первых МОЦАО и палеоклиматических сценариев (Шикломанов, Георгиевский, 1990; Shiklomanov, Georgievsky, 1992; Георгиевский и др., 1996а; Георгиевский и др., 1996б; Георгиевский

и др., 1997, и т. д.) и ведутся до настоящего времени по мере разработки климатологами новых МОЦАО и климатических сценариев. В расчетах использовалась разработанная в ГГИ воднобалансовая модель для определения по декадным данным о температуре, осадках и влажности воздуха основных составляющих гидрологического цикла: испарения, влажности почвы, изменения запасов подземных вод, поверхностного и подземного стока (Георгиевский и др., 1996а). В 2007 г. в качестве эксперимента использовалась также сеточная гидрологическая модель университета Нью-Гемпшира (США) (Vögtsmarty et al, 1998).

В настоящем разделе приводятся основные результаты, полученные в ГГИ ранее, а также оценки возможных изменений водных ресурсов в ближайшие 10–15 лет, сделанные на основе приведенных выше современных климатических сценариев 2007 г. Также приводятся результаты первого опыта использования сеточной гидрологической модели университета Нью-Гемпшира и обзор результатов аналогичных исследований других авторов.

11.2.3.1. Обзор результатов прошлых лет

Оценки возможных изменений водных ресурсов были выполнены для водосборов средних рек, расположенных в бассейнах Волги, Дона, Днепра и Лены. Также были выполнены расчеты по оценке возможных изменений водных ресурсов крупных рек бассейна Северного Ледовитого океана.

В качестве возможных климатических условий будущего использовались региональные сценарии,

полученные по моделям общей циркуляции атмосферы в Германии (модель ECHAM4), США (модель GFDL-R15), Канаде (модель CGCM1) и Великобритании (модели HadCM2–1%, HadCM2–1%+a, HadCM2–0,5%, HadCM3), а также сценарии, разработанные в ГГИ на основе палеоклиматических реконструкций для глобального потепления на 1,0 и 1,5–2,0°С. Здесь 1%, 0,5% — моделируемое увеличение концентрации парниковых газов (% в год), +a — учет компенсирующего влияния аэрозолей.

В бассейне Волги для оценок гидрологических последствий потепления климата использовались все перечисленные выше климатические сценарии. Были выполнены расчеты климатического стока для водосборов-индикаторов, расположенных в бассейне Волги. В табл. 11.3 приведены результаты расчетов, характеризующие изменения годового стока рек бассейнов-индикаторов для всех рассматриваемых сценариев по отношению к условиям 1961–1990 гг.

Анализ этих данных позволяет сделать следующие выводы:

По всем рассматриваемым климатическим сценариям на преобладающей части бассейна Волги следует ожидать увеличения годового стока (водных ресурсов). В зависимости от физико-географических зон бассейна это увеличение находится в пределах 1–13% (ECHAM4), 4–14% (GFDL-R15), 2–25% (CGCM1), 6–16% (HadCM2–1%), 3–32% (HadCM2–1%+a), 4–21% (HadCM2–0,5%) и 4–31% (палеоклиматический сценарий). Наибольшее относительное увеличение стока ожидается для самой южной (степной) части водосбора

Таблица 11.3

Изменения годового стока в бассейне Волги при различных климатических сценариях

Бассейн	Норма, Q, мм	ECHAM4		GFDL-R15		CGCM1		HadCM2 1%		HadCM2 1%+a		HadCM2 0.5%		Палеоклиматический 2 °С	
		Δ мм	%	Δ мм	%	Δ мм	%	Δ мм	%	Δ мм	%	Δ мм	%	Δ мм	%
Верхн. Волга	256	-10	-4	18	7	18	7	13	5	10	4	-6	-2	11	4
Верхн. Ока	169	14	9	24	14	7	4	5	8	6	3	-9	-5	12	7
Кострома	248	14	6	27	11	30	12	18	7	17	7	11	4	22	9
Ветлуга	226	7	3	28	12	40	18	29	13	11	5	15	6	30	14
Челца	213	17	8	18	9	17	8	29	14	10	5	23	11	21	10
Верхн. Кама	277	21	7	16	6	27	10	27	10	16	6	27	10	31	12
Кокшага	156	1	1	3	2	20	13	20	13	4	3	11	7	14	10
Сок	130	1	1	-6	-5	-2	-1	12	9	14	11	15	12	9	9
Сура	121	-2	-2	4	4	2	2	7	6	12	10	7	6	29	26
Самара	78	11	13	-2	-3	0	0	12	15	16	21	13	16	15	22
Бол. Иргиз	46	3	7	-1	-3	11	25	7	16	15	32	9	21	15	31

Волги. Так, например, для бассейна Бол. Иргиза увеличение стока составляет 25%, 16%, 32% и 21% соответственно для сценариев CGCM1, HadCM2 — 1%, HadCM2 — 1% + a, HadCM2 — 0,5%. Такое значительное относительное увеличение объясняется тем, что при норме стока Бол. Иргиза, равной 46 мм, повышение осадков в его бассейне на 20–40 мм приводит к увеличению стока на 8–15 мм. По отдельным бассейнам можно ожидать очень незначительного (2–5%) снижения годового стока.

На рис. 11.1 в качестве примера представлены данные, характеризующие внутригодовое распределение стока рек лесной зоны бассейна Волги при различных климатических сценариях. Полученные результаты указывают на большую чувствительность стока к изменениям температуры и осадков в зимний и весенний периоды. Ожидаемое существенное потепление в зимний сезон в высоких широтах бассейна в холодный период года приведет к повышению на значительной части его территории зимнего стока в результате увеличения частоты и интенсивности оттепелей. В бассейне Камы, где зимой наблюдаются очень низкие температуры воздуха, даже потепление в декабре — феврале на 4–6 °С не приведет к существенному росту меженного стока в холодный период. Для бассейнов Костромы, Ветлуги и Чепцы в результате более раннего начала снеготаяния пик половодья смещается с мая на апрель.

Оценки изменений годовых объемов климатического стока с водосбора Волги (притока в Каспийское море) при всех климатических сценариях дали очень близкие результаты. По сравнению с естественным стоком Волги его увеличение составит 13 км³/год (5%) и 18 км³/год (7%) соответственно для моделей ECHAM4 и GFDL-R15, 25 и 24 км³/год (примерно 10%) — для моделей CGCM1 и HadCM2 — 1%. По моделям HadCM2 — 1% + a и HadCM2 — 0,5% можно ожидать увеличения стока соответственно на 7 и 6%. По палеоклиматическо-

му сценарию сток Волги увеличится на 23 км³/год, или на 9%.

Представляет интерес сравнение результатов расчетов изменений стока для климатических сценариев, полученных по различным вариантам модели HadCM2. Такое сравнение позволяет в явном виде оценить чувствительность водных ресурсов и водного режима к изменениям в климатических сценариях, обусловленных учетом влияния в модели антропогенных аэрозолей, а также различной интенсивностью увеличения концентрации в атмосфере двуокси углерода. Анализ результатов показал, что каких-либо значительных расхождений в оценках речного стока в бассейне при этих вариантах не отмечается.

Для бассейна Дона в качестве возможных климатических условий будущего были использованы сценарии, полученные по моделям HadCM2 — 1%, GFDL-R15, ECHAM4. Оценки возможных изменений осадков в бассейне Дона, полученные по этим моделям, неоднозначны. Если по сценариям HadCM2 — 1% и GFDL-R15 годовая сумма осадков увеличится на преобладающей части водосбора соответственно на 10–20 мм и 15–40 мм, то по сценарию ECHAM4 — она уменьшится на 10–40 мм. В соответствии с изменением характера увлажненности существенно отличаются и оценки изменений годового стока рек бассейна (см. табл. 11.4). Если по палеоклиматическому сценарию и сценарию GFDL-R15 годовая сток всех рассмотренных рек увеличится, то по сценарию ECHAM4 — уменьшится. При этом, как следует из представленных данных, диапазон оценок чрезвычайно велик. По сценарию HadCM2 в западной части бассейна произойдет снижение стока, а водные ресурсы левобережных притоков реки Дона увеличатся.

Общая характеристика возможных изменений внутригодового распределения стока следующая: более раннее начало весеннего половодья, снижение наибольших месячных расходов воды, устой-

Таблица 11.4

Изменение годового стока в бассейне Дона при различных климатических сценариях

Бассейн	Зона	Норма, Q мм	ECHAM4		GFDL-R15		HadCM2_1%		Палеоклиматический 1,5 °С	
			Δ, мм	%	Δ, мм	%	Δ, мм	%	Δ, мм	%
Верхний Дон	Лесостепная	129	-2	-2	31	24	7	5	14	16
Оскол	Лесостепная	97	-40	-41	1	1	-4	-4	25	26
Хопер	Степная	98	-17	-17	14	14	6	6	23	23
Медведица	Степная	79	-15	-19	8	10	5	7	28	35
Сал	Сухостепная	13	-4	-30	2	15	7	53	30	230

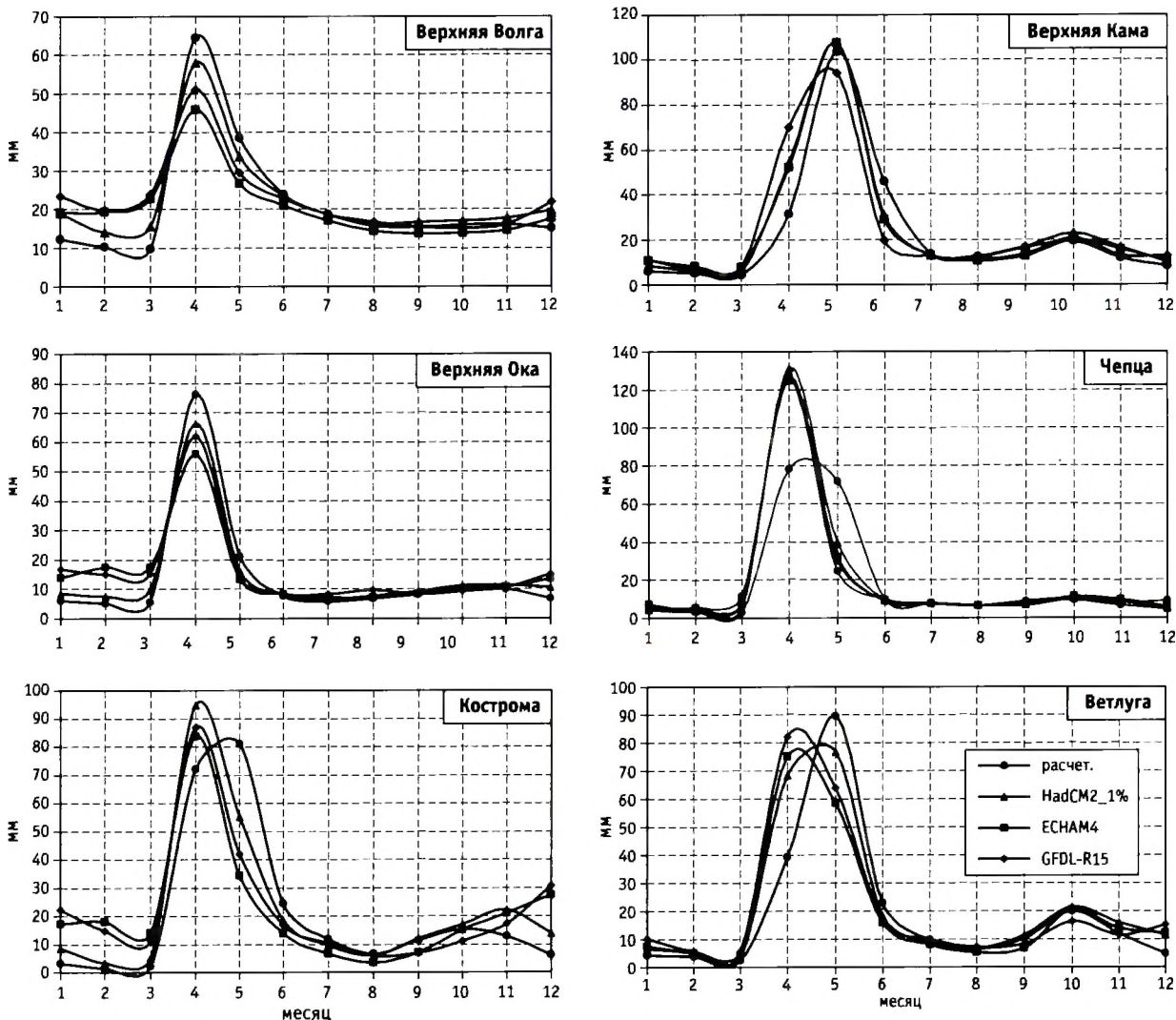


Рис. 11.1. Внутригодовое распределение стока рек лесной зоны бассейна Волги при различных климатических сценариях

чивая летняя межень и значительное увеличение стока зимних месяцев.

Анализ результатов выполненных расчетов притока речных вод в Цимлянское водохранилище (рис. 11.2) показывает, что в ближайшие десятилетия вполне вероятно существенное снижение притока к Цимлянскому водохранилищу, являющемуся основным регулятором стока в бассейне. Так, например, при сценарии ECHAM4 годовой приток к водохранилищу уменьшится почти на $4 \text{ км}^3/\text{год}$, что составляет примерно 20% от его нормы при современных климатических условиях.

В бассейне Днепра для оценок возможных изменений водного режима использовались климати-

ческие сценарии, полученные по моделям ECHAM4, HadCM2, GFDL-R15 для тридцатилетия 2010–2039 гг., а также на основе палеоклиматических реконструкций для условий глобального потепления на $1,5^\circ\text{C}$.

В табл. 11.5 приведены данные, характеризующие величины изменений годового стока рек, расположенных в бассейне Днепра. Из этих данных следует, что при сценарии ECHAM4 сток рассматриваемых рек уменьшится на 8–48%, что обусловлено, прежде всего, ожидаемым уменьшением осадков. Напротив, по сценарию GFDL-R15, в соответствии с которым увлажненность бассейна увеличится, годовой сток повысится, при этом наиболее существенно (на 19%) в бассейне Припяти.

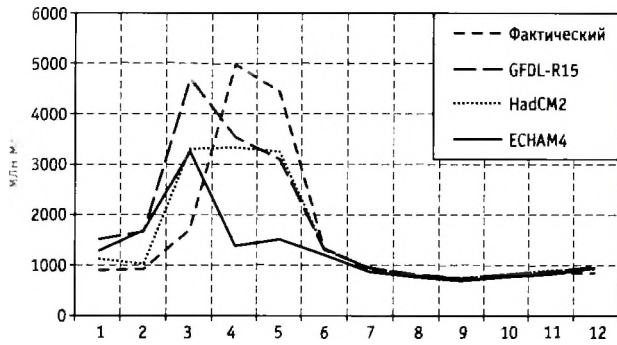


Рис. 11.2. Приток к Цимлянскому водохранилищу при различных климатических сценариях

Еще более значительного увеличения водных ресурсов следует ожидать при палеоклиматическом сценарии. Результаты оценок, полученные по сценарию HadCM2, для преобладающей части бассейна дают очень незначительные, за исключением Припяти, лежащие в пределах $\pm 5\%$, величины изменения годового стока. Таким образом, результаты моделирования стока при различных климатических сценариях свидетельствуют об очень значительной неопределенности в отношении возможных в ближайшие десятилетия изменений годового стока рек бассейна Днепра.

Анализ результатов расчетов водного режима рек в бассейне Днепра для рассматриваемых сценариев показал на очень высокую чувствительность внутригодового распределения стока к изменениям как осадков, так и температуры воздуха. При этом

очень важным является не только величина этих изменений, но и то, в какие сезоны и месяцы они происходят. В зависимости от этого определяющую роль могут играть как осадки, так и температура воздуха.

На рис. 11.3 в качестве примера приведены данные, характеризующие внутригодовое распределение стока рек бассейна Днепра при современных условиях и при различных климатических сценариях.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что в бассейне Днепра может существенно измениться внутригодовое распределение стока рек. Если современный режим рек характеризуется четко выраженным весенним половодьем снегового происхождения, наблюдающимся в северной части территории в апреле-мае, а в южной — в марте-апреле, во время которого проходит основная часть годового стока, а также летне-осенней и зимней меженью, то при рассматриваемых климатических сценариях водный режим будет несколько иным. Прежде всего, следует отметить очень значительное (в несколько раз) увеличение стока в холодный период года. Весеннее половодье по большинству сценариев будет начинаться раньше. В летний сезон отмечается устойчивая межень, во время которой питание рек происходит в основном за счет подземных вод.

Такой водный режим рек обусловлен, прежде всего, прогнозируемым значительным повышением температуры воздуха. В результате потепления

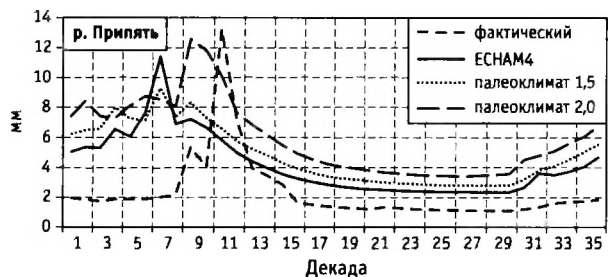
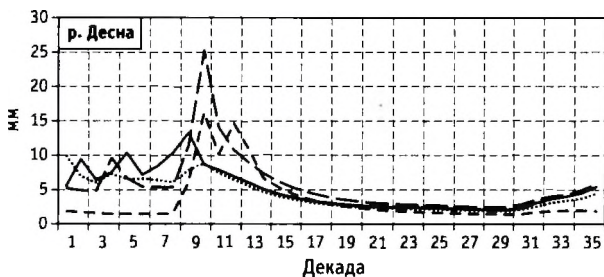
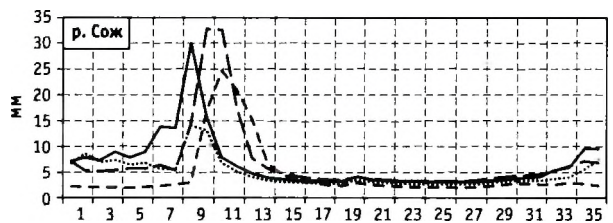
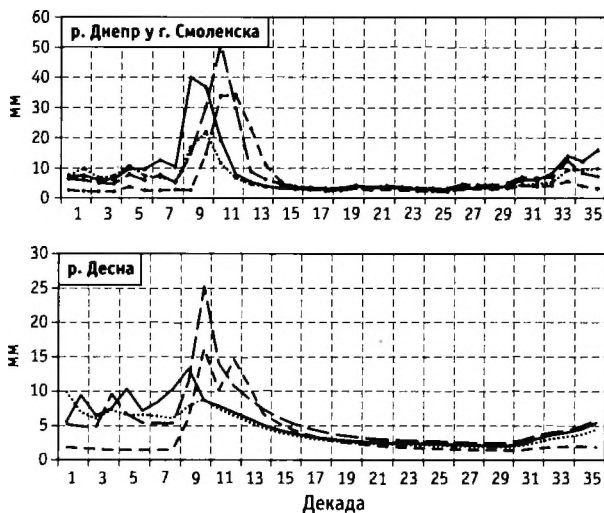


Рис. 11.3. Фактический и расчетные среднемноголетние гидрографы стока рек в бассейне Днепра при различных климатических сценариях

Изменение годового стока в бассейне Днепра при различных климатических сценариях

Бассейн	Зона	Норма, Q, мм	ЕСНАМ4		GFDL-R15		HadCM2 1%		Палеоклиматический 1,5 °С	
			Δ, мм	%	Δ, мм	%	Δ, мм	%	Δ, мм	%
Верхн. Днепр	Лесная	192	-18	-9	26	14	3	2	9	4
Березина	Лесная	187	-15	-8	-1	0	-5	-3	30	16
Сож	Лесная	161	-35	-21	4	3	-2	-1	19	8
Ипуть	Лесная	153	-30	-20	14	9	-3	-2	23	15
Десна	Лесная	171	-26	-15	13	8	3	2	24	23
Припять	Лесная	88	-17	-19	17	19	22	25	87	101
Псел	Лесостепная	68	-33	-48	0	0	-3	-4	37	53
Ворскла	Лесостепная	65	-30	-45	12	18	0	0	38	58

в холодный период года практически будет отсутствовать устойчивый снежный покров, влажность почвы будет близка или превышать капиллярную влагоемкость, будут наблюдаться частые паводки снегодождевого происхождения. В теплый же период года, вследствие резкого роста температуры воздуха, большая часть осадков будет расходоваться на испарение, а питание рек будет осуществляться за счет сработки запасов подземных вод.

В бассейне Лены для расчетов возможных изменений стока был использован сценарий HadCM3/A2 и палеоклиматический сценарий для условий глобального потепления на 1,5 °С. По этим климатическим сценариям с использованием математической модели формирования стока были выполнены расчеты стока для ряда рек бассейна Лены. Следует отметить, что средние годовые значения стока этих рек существенно различаются — от 90 мм в бассейне Амги до 330 мм в верхней части бассейна Алдана.

При параметризации модели для расчетов стока в климатических условиях, отличающихся от современных, учитывалось, что при прогрессирующем потеплении климата будет увеличиваться глубина сезонного протаивания. В качестве первого приближения были использованы результаты исследований по оценке изменений мощности сезонного протаивания для бассейна Лены при различных климатических сценариях будущего (Анисимов, 2002, Малевский-Малевич, Надёжина, 2002).

В табл. 11.6 приведены результаты расчетов по моделям, характеризующие изменения годового стока рек для двух рассмотренных климатических сценариев по отношению к современным условиям.

Анализ этих данных позволяет сделать следующие выводы.

При климатических изменениях по сценарию HadCM3 годовые стоки рек увеличатся в разных физико-географических зонах бассейна Лены на 9–36 мм. Наиболее значительное увеличение стока произойдет в бассейне Амги (на 32%), а также в верховьях Лены и на р. Нюя (на 18%), а наименее значительное (5–9%) — на реках Витим, Олёкма и Чара.

Таблица 11.6

Изменение годового стока в бассейне Лены при различных климатических сценариях

Река	Норма, Q, мм	HadCM3/A2		Палеоклиматический	
		Δ, мм	%	Δ, мм	%
Верхняя Лена	143	26	18	47	33
Витим	100	9	9	18	18
Чара	318	21	6	25	8
Олёкма	249	12	5	17	7
Нюя	120	21	18	40	33
Амга	91	29	32	28	31
Верхний Алдан	331	36	11	10	3

При ожидаемых климатических изменениях по палеоклиматическому сценарию также произойдет увеличение годового стока всех рассмотренных рек в диапазоне 10–47 мм. Наиболее значительное увеличение стока должно произойти в бассейне Амги (на 31%), а также в верховьях Лены и на р. Нюя (на 33%), а наименее выраженное (на 3–8%) — на реках Алдан, Олёкма, Чара.

Возможные изменения во внутригодовом распределении стока рек позволяют проследить гидрографы стока, смоделированные для условий современного климата и для сценария HadCM3 (рис. 11.4). Обращает на себя внимание ожидаемое значительное увеличение стока весеннего полово-

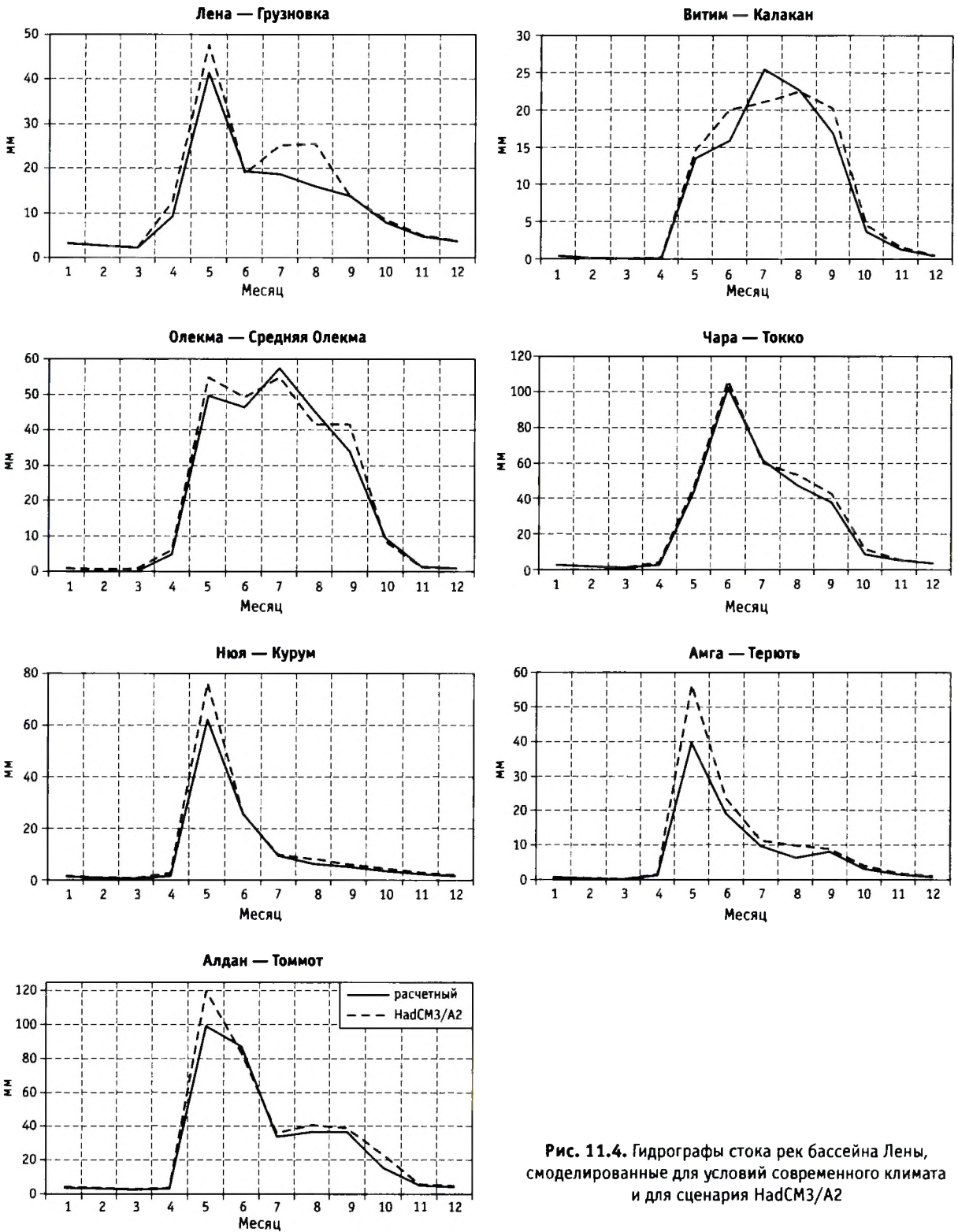


Рис. 11.4. Гидрографы стока рек бассейна Лены, смоделированные для условий современного климата и для сценария HadCM3/A2

дья на реках Лена, Нюя, Амга и Верх. Алдан. Вместе с тем очевидно, что характер внутригодового распределения стока по сравнению с современными условиями не претерпит каких-либо существенных изменений.

При использовании палеоклиматического сценария, при котором ожидается более значительное повышение температуры воздуха в сравнении со сценарием HadCM3, модельные расчеты показали, что весеннее половодье должно начинаться почти на месяц раньше, чем в современных условиях, при этом, например, максимальные расходы воды на Верхней Лене будут наблюдаться в апреле, а не в мае, как сейчас.

Что касается зимнего стока, доля которого в годовом на реках бассейна Лены незначительна, следует ожидать его увеличения при дальнейшем потеплении климата.

Были выполнены приближенные оценки возможных изменений годового притока по р. Лена в Северный Ледовитый океан. При использовании сценария HadCM3 приток может увеличиться примерно на $60 \text{ км}^3/\text{год}$ (~12%), а при использовании палеоклиматического сценария — на $110 \text{ км}^3/\text{год}$ (~21%).

Таким образом, результаты расчетов, полученных с использованием различных сценариев изменения климата, позволяют сделать вывод о наиболее вероятном в перспективе увеличении водных ресурсов р. Лены. Это, в свою очередь, повысит вероятность формирования очень высоких расходов воды в весенне-летний период, превышающих современные.

Для расчетов изменения стока основных рек бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) использовался климатический сценарий, полученный по модели HadCM3 при сценарии эмиссии парниковых газов в атмосферу A2.

По воднобалансовой модели ГГИ были рассчитаны изменения стока рек-индикаторов в бассейнах основных рек, стекающих в СЛО, после чего были определены величины стока самих этих рек в океан. Основные результаты проведенных расчетов по 10 рекам бассейна СЛО приведены в табл. 11.7.

Как видно из таблицы, принятый климатический сценарий дает увеличение годового стока арктических рек на 3–11%. Наибольшее относительное увеличение притока ожидается по Лене и Индигирке, а наименьшее — по Оби. Последнее объясняется незначительным изменением осадков по этому сценарию в степной и лесостепной частях бассейна

Оби. В абсолютных величинах наибольшую прибавку притока в СЛО дают Енисей и Лена — соответственно по 60 и $40 \text{ км}^3/\text{год}$.

В сумме по 10 рассмотренным рекам ожидается возрастание притока в СЛО на 7%. Эта величина может быть ориентировочно принята и для всей евразийской части бассейна СЛО, поскольку относится более чем к 80% площади ее водосбора.

Таблица 11.7

Изменения притока арктических рек России в Северный Ледовитый океан на уровень 2010–2039 гг. по сценарию HadCM3/A2

Река	Площадь водосбора, км ²	Норма притока		Изменение притока		
		мм	км ³	мм	км ³	%
Печора	322 000	404	130	34	11	8
Мезень	78 000	355	27,7	19	2	5
Северная Двина	357 000	305	109	12	4	4
Обь	2 990 000	135	404	4	13	3
Енисей	2 580 000	244	630	16	40	6
Лена	2 490 000	214	532	24	60	11
Оленёк	219 000	169	34,3	15	3	9
Яна	238 000	129	30,7	11	3	8
Индигирка	360 000	149	53,6	16	6	11
Колыма	647 000	197	128	15	10	8
Всего по 10 рекам	10 281 000	202	2080	15	151	7

Во внутригодовом распределении стока рек бассейна СЛО можно отметить, в первую очередь, повсеместное увеличение зимнего стока, хотя его доля в годовом как в настоящее время, так и в перспективе является очень незначительной. На реках Восточной Сибири ожидается увеличение стока весеннего половодья. Вместе с тем очевидно, что характер внутригодового распределения стока по сравнению с современными условиями не претерпит каких-либо принципиальных изменений.

Для рек степной и лесостепной частей бассейна Оби будет характерно более раннее начало весеннего половодья. Однако, ввиду незначительной доли их стока в суммарном стоке Оби, это не отразится на режиме ее притока в СЛО.

11.2.3.2. Оценки возможных изменений водных ресурсов на основе новых климатических сценариев

Оценки будущих изменений годового стока на ближайшие 10–15 лет выполнялись с использованием воднобалансовой модели ГГИ для водосборов

Таблица 11.9

**Изменения годового стока крупнейших рек России
на уровень 2011–2030 гг. по ансамблю климатических
моделей для сценария В1**

Река	Норма стока, мм	Среднее изменение стока по ансамблю моделей		Диапазон изменений стока	
		мм	%	мм	%
Печора	404	18	4	+4...+31	+1...+8
Северная Двина	305	10	3	+1...+20	0...+7
Волга	187	6	3	-4...+16	-2...+9
Обь	135	5	3	0...+11	0...+8
Енисей	244	9	2	0...+9	0...+4
Лена	214	7	3	-2...+15	-1...+7

средних рек, расположенных в различных физико-географических зонах, а затем обобщались применительно к бассейнам шести крупнейших рек страны (Волга, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена). В качестве возможных климатических условий будущего были использованы климатические сценарии, принятые в IV оценочном докладе МГЭИК, анализ которых приведен выше, в разд. 11.2.2.

В табл. 11.8 и 11.9 приведены данные об изменениях годового стока крупнейших рек страны для периода 2011–2030 гг., полученные в соответствии с принятыми климатическими сценариями, а также наибольшие и наименьшие его изменения по отдельным моделям. Анализ полученных материалов позволяет прийти к основному выводу о том, что в ближайшие 10–15 лет нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений водных ресурсов этих рек в результате антропогенного потепления климата. Даже крайние оценки лежат в диапазоне от –2 до +9%, т. е. в пределах естественной изменчивости стока, поскольку ранее за период инструментальных наблюдений его отклонения от нормы за отдельные многолетние периоды времени превышали указанные выше значения. Также можно сделать вывод, что в ближайшей перспективе наиболее вероятно незначительное (в пределах 5%) увеличение водных ресурсов основных рек страны.

Таким образом, оценки, полученные по новым климатическим сценариям, в основном согласуются с ранее полученными результатами, приведенными в предыдущем разделе.

Таблица 11.8

**Изменения годового стока крупнейших рек России
на уровень 2011–2030 гг. по ансамблю климатических
моделей для сценария А2**

Река	Норма стока, мм	Среднее изменение стока по ансамблю моделей		Диапазон изменений стока	
		мм	%	мм	%
Печора	404	22	5	+3...+30	0...+7
Северная Двина	305	5	1	-7...+17	-2...+6
Волга	187	4	2	-4...+10	-2...+5
Обь	135	8	6	+3...+11	+3...+8
Енисей	244	9	4	+5...+19	+2...+8
Лена	214	7	3	0...+13	0...+6

Для оценки возможных изменений стока по территории России при различных климатических условиях была также использована сеточная вод-

нобалансовая модель, разработанная в Университете Нью-Гэмпшира, США (Vörösmarty et al, 1998). Следует отметить, что сеточные гидрологические модели обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными точечными моделями. Они позволяют получать неразрывные поля элементов гидрологического цикла, могут использовать данные дистанционного зондирования и быть интегрированы с региональными и глобальными климатическими моделями. Выбор данной модели (WBMPlus) был обусловлен ее широким применением в международных гидрологических проектах ВМО и ЮНЕСКО и многолетним тесным сотрудничеством между ГГИ и Университетом Нью-Гэмпшира. Данная модель позволяет определять по метеорологическим данным основные составляющие гидрологического цикла: испарение, снегозапасы, влажность почвы, изменения запасов подземных вод и поверхностный сток.

Воднобалансовая модель может работать как отдельно для определения слоя стока в каждой ячейке сетки, так и совместно с моделью трансформации стока по русловой сети, которая позволяет получать расходы воды в каждой ячейке сетки. Модель трансформации стока основана на методе Маскингам, который широко применяется как в России, так и за рубежом для расчетов стока. Русловая сеть для расчетов трансформации с разрешением 30' (STN-30) и 6' (STN-6) была смоделирована по детальным данным о рельефе подстилающей поверхности (ГТОРО-30) с последующей ручной корректировкой на основе картированной информации о фактической речной сети. Для расчетов стока по территории России была использована речная сеть с разрешением 30', которая уже применялась совместно с воднобалансовой моде-

лю для расчетов глобальных композитных полей стока на основе данных наземных наблюдений Глобального центра данных по стоку (GRDC) ВМО в Кобленце (Германия) и стока, смоделированного на модели WBMPlus, для неизученной территории (Fekete et al., 2000).

Модель WBMPlus работает по суточным интервалам времени, однако с недавно внесенными усовершенствованиями, касающимися уменьшения ошибок, связанных с использованием исходных данных большего временного разрешения, она может использовать и месячные исходные данные. Для расчетов стока по территории России в качестве входных данных были использованы среднемесячные значения температуры воздуха и осадков, смоделированные на модели общей циркуляции атмосферы и океана ECHAM5 для сценариев выбросов CO₂ в атмосферу A2 и B1 и базового сценария для XX в. 20c3m, который характеризует современное состояние климатической системы. Модель ECHAM5 была рекомендована IPCC как демонстрирующая наиболее реалистичные результаты для умеренных и высоких широт, поэтому для наших расчетов мы остановили наш выбор на сценариях, основанных на данной модели. Для определения гидравлических свойств почвы была использована цифровая карта почв, разработанная ФАО/ЮНЕСКО.

В табл. 11.10 приведены результаты оценки изменения водных ресурсов крупнейших рек России, рассчитанные по модели WBMPlus для сценариев ECHAM5 при эмиссии CO₂ в атмосферу A2 и B1. На рисунках (см. цв. вкл., рис. 41 и 42) показаны средние изменения годового стока, рассчитанные по модели WBMPlus на основе сценария ECHAM5, по сравнению со средним многолетним стоком в 1961–1991 гг., при эмиссии CO₂ в атмосферу соответственно A2 и B1.

Таблица 11.10

Изменения годового стока крупнейших рек России по модели ECHAM5

Река	Сценарий A2				Сценарий B1			
	2011–2030		2031–2050		2011–2030		2031–2050	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Лена	-3	-1,4	15	7,0	10	4,7	9	4,2
Енисей	19	7,8	-3	-1,2	1	0,4	1	0,4
Обь	5	3,7	18	13,3	7	5,2	-14	-10,4
Печора	-29	-7,2	26	6,4	9	2,2	24	5,9
Северная Двина	12	3,9	56	18,4	8	2,6	12	3,9
Волга	-10	-5,3	15	8,0	13	6,9	5	2,7

Следует отметить, что выполненные расчеты носят предварительный характер, поскольку использование данной гидрологической модели для территории России имеет ряд ограничений, которые могут оказывать существенное влияние на полученные результаты. Данная версия модели не учитывает сезонное и многолетнее промерзание почвы, играющее значительную роль в гидрологических процессах на территории России. Таяние вечной мерзлоты и увеличение активного слоя почвы с ростом приземной температуры воздуха будут способствовать дополнительному увеличению стока, особенно в периоды летне-осенней и зимней межени по бассейнам северных и сибирских рек. В настоящее время Университет Нью-Гэмпшира совместно с ГГИ и Университетом Аляски разрабатывает специальную версию воднобалансовой модели для зоны вечной мерзлоты, которая будет учитывать дополнительную водоотдачу от таяния мерзлоты.

В целом полученные с помощью модели Университета Нью-Гэмпшира результаты по территории России показывают общие тенденции с ранее выполненными оценками по разным климатическим сценариям, хотя величина прогнозируемых изменений находится в пределах естественной изменчивости.

Наряду с приведенными выше оценками возможных в перспективе изменений стока, рассчитанными по гидрологическим моделям на основе сценарных данных об осадках и температуре воздуха, нами был использован и другой подход, получивший широкое распространение в последние годы (Мелешко и др., 2004, Nohara et al, 2005, Добровольский, 2007). Этот подход основан на непосредственном использовании расчетных данных по стоку, полученных по МОЦАО. В современных климатических моделях рассчитывается разность осадков и испарения, которую со значительной долей условности можно интерпретировать как величину речного стока. Эта условность обусловлена тем, что уравнение водного баланса (сток равен разности осадков и испарения) справедливо только для среднемноголетнего годового стока при стационарности климата. Во всех других случаях использование этого уравнения без аккумуляционных составляющих (изменения запасов воды в подземных горизонтах, в зоне аэрации, озерах, болотах и др.) является некорректным. Вместе с тем анализ возможных в перспективе изменений величин разности осадков и испарения, на наш взгляд, пред-

ставляет интерес как показатель общей влагообеспеченности территорий. Отметим, что в зарубежной научной литературе для обозначения этой величины часто используется термин «климатический сток», т. е. сток, который потенциально может сформироваться в речном бассейне. Далее для простоты изложения мы будем использовать обычный термин «сток», имея в виду отмеченные выше ограничения.

Нами были произведены оценки изменений стока (разности осадков и испарения) на основе данных современных климатических сценариев IPCC, полученных непосредственно через Интернет (ряды прогнозных значений среднемесячных модулей поверхностного стока — <https://esg.llnl.gov:8443/home/publicHomePage.do>; в узлах регулярных глобальных сеток за период 200 лет — с 1901 по 2100 г.), рассмотренных в последнем докладе IPCC (2007). Используются результаты расчетов по моделям ECHAM5, GFDL CM2.0, MR CGCM, в качестве сценариев выброса парниковых газов рассматривались варианты A2 и B1, в качестве базового периода — сценарий 20C30M.

По данным модельных расчетов применительно к территории России нами были определены средние за 2011–2030 гг. (прогнозный период) и 1981–2000 гг. (базовый период) величины стока за год, за теплый и холодный периоды в узлах регулярной сетки. Наряду с этим периодом нами было рассмотрено и последующее двадцатилетие (период с 2031 по 2050 г.) для получения представления об изменениях стока в середине столетия. Далее были рассчитаны их изменения для прогнозного периода относительно базового. По этим данным строились и анализировались карты аномалий стоковых характеристик. На рисунках (см. цв. вкл., рис. 43–46) приведены карты таких аномалий отдельно для трех МОЦАО при сценарии эмиссии парниковых газов A2, а также осредненных аномалий по ансамблю моделей.

Шаг регулярных глобальных сеток моделей ECHAM5 и других имеют разрешение от 1,2° до 0,5°. Сразу бросается в глаза, что с помощью таких моделей невозможно производить оценки изменений на региональном уровне. А учитывая тот факт, что в пределах пространственных клеток, центрами которых являются узлы регулярных сеток моделей, все параметры осреднены, включая характеристики подстилающей поверхности, становится очевидным, что эти глобальные сетки практически не улавливают поднятия и опускания рельефа, изме-

нений в подстилающей поверхности. Поэтому, оценивая полученные результаты, можно говорить только о наблюдаемых тенденциях в изменениях рассматриваемых характеристик на достаточно больших площадях. Соответственно, полученные к настоящему времени оценки гидроклиматических условий будущего нельзя рассматривать как прогноз, а только как возможные сценарии будущего климата.

В целом по территории России, как было показано в разд. 11.2.2, по всем моделям отмечается увеличение годовых сумм осадков и соответственно — рост величин слоев стока, происходит также повышение среднегодовых температур воздуха. Однако по разным моделям оценки сильно различаются, и нами была произведена осреднение результатов, полученных по разным моделям, построены карты этих изменений, представляющих результаты по ансамблю моделей.

В соответствии с расчетами, полученными для модели ECHAM5, на ближайшие два десятилетия ожидается увеличении значений годовых слоев стока на преобладающей части территории России, и особенно значительное (до 80 мм) — на юге Сибири. Лишь незначительное (около 20 мм) уменьшение годового слоя стока наблюдается в северной части бассейна моря Лаптевых (в низовьях рек Лены, Хатанги, Оленька и Анабара), что полностью повторяет картину, наблюдаемую и по изменениям сумм годовых осадков (по результатам той же модели) и в бассейнах Северной Двины, Онеги и Мезени. В теплый сезон года уменьшение величин слоев стока наблюдается на территории Кольского полуострова, бассейнах Онеги и Мезени, а также на п-ове Камчатка и о. Сахалин. Увеличение этих данных наблюдается только в бассейне оз. Байкал и на Чукотке, как и значений годовых изменений (до 60 мм). В холодный же сезон года наблюдается однородное увеличение слоев стока по всей территории России (до 40 мм), достигающее максимальных значений в верховьях водосборов р. Оби и Енисея (до 80 мм).

Иная картина наблюдается в следующее двадцатилетие. Здесь происходит уменьшение величин годовых слоев стока (около 20 мм) на территории Европы, Северо-запада, в бассейнах рек Оленёк, Анабара, Яны и Колымы, наибольшее уменьшение — на территории Камчатки (до 80 мм). Такую же тенденцию показывают и изменения слоев стока за теплый сезон года, но уменьшения значений слоев стока наблюдаются уже по всей территории

бассейнов Волги и Северной Двины (до 20 мм), наибольшее в Карелии и на Камчатке (до 80–100 мм). Однако на территории Кавказа наблюдается некоторое увеличение величин стока (до 20 мм), в то время как карты годовых слоев стока демонстрируют подобное же изменение но с обратным знаком. Наибольшее уменьшение слоев стока (до 40 мм) наблюдается в верховьях Оби и Енисея, наибольшее увеличение — в низовьях водосборов этих рек — до 80 мм, как и изменения годовых слоев стока за этот же период времени (с 2031 по 2050 г. относительно периода с 1981 по 2000 г., как базового). В холодный же сезон года также наблюдается однородное увеличение слоев стока по всей территории России (до 40 мм), достигающее максимальных значений на территории северо-западной части России (до 80 мм).

Другую ситуацию мы наблюдаем на картах изменений слоев стока, построенных за те же периоды, по результатам американской модели **GFDL CM2.0**, сценарий A2. Здесь мы видим значительное увеличение значений годовых слоев стока за период с 2011 по 2030 гг. на водосборе р. Печора, достигающее 120 мм в верховьях водосбора, и в верховьях бассейна Лены, а на территории Европы, Кавказа, в верховьях Оби и Енисея — заметное уменьшение этих значений (до 40 мм). Наибольших значений это уменьшение достигает на западе и в низовьях бассейна реки Волги. Подобную же картину, но с меньшим масштабом распространения увеличения слоев стока, мы видим и на картах изменений за теплый сезон года. В холодный же период года результаты, полученные по этой модели, схожи по значениям и наблюдаемым тенденциям с результатами модели немецкого института за оба периода (принятых для расчетов) и демонстрируют однородное увеличение значений слоев стока по всей территории России на такую же величину, с максимальным увеличением до 80 мм, наблюдающимся на водосборе р. Волга в период с 2031 по 2050 гг.

Годовые слои стока за следующий же расчетный период демонстрируют увеличение площади распространения значений увеличения слоев стока. Здесь уже рост наблюдается и по всей территории водосбора Лены, Хатанги, Приморского края и Чукотки. Значения максимумов увеличения остаются такими же, однако увеличивается амплитуда, а минимальные значения наблюдаются в среднем течении Оби. На карте же изменений слоев стока в теплый сезон года мы видим распространение зоны

уменьшения этих значений с запада до Уральского хребта и верховья Енисея, а наибольшее увеличение слоев стока наблюдается в низовьях Печоры, Оби, Енисея и на территории бассейна Лены.

Модель **CGCM MRI** демонстрирует увеличение значений слоев годового стока по территории России, которое достигает максимальных значений (до 60 мм) в среднем течении Волги, Оби, низовьях Енисея и Оби. Уменьшение этих значений наблюдается в верховьях Лены и в бассейне р. Кубань, а картина в теплый сезон года полностью повторяет изменения годовых значений слоев стока. В холодный сезон года также наблюдается устойчивое увеличение стока.

В следующее двадцатилетие мы также наблюдаем устойчивый рост значений как годовых, так и значений слоев стока в теплый период года по всей России, а по всей европейской территории страны этот рост достигает значений 120 мм, исключение составляет лишь верховья бассейна Енисея, Лены и Кавказ. Картина изменений значений слоев стока в холодный сезон года сохраняется и в этот рассматриваемый период.

Результаты, полученные по ансамблю моделей (см. цв. вкл., рис. 46), отражают основные осредненные тенденции в изменениях слоев стока, рассчитанных по каждой из рассматриваемых моделей в отдельности. Здесь мы видим устойчивое увеличение значений годовых слоев стока по всей территории России. Ситуация в поведении значений слоев стока за теплый сезон года в целом повторяет годовые тенденции. В значениях слоев стока за холодный сезон наблюдается устойчивое увеличение, наибольшее в северо-западной части страны.

В целом ансамблевые оценки, полученные по новым климатическим сценариям, в основном согласуются с ранее полученными результатами, приведенными в предыдущих разделах.

Обобщенные результаты сравнительного анализа годового и сезонного стока речных бассейнов, рассчитанного по наблюдаемым данным и по данным **МОЦАО**, а также его возможные будущие изменения в первой половине XXI столетия приведены в табл. 11.11 и 11.12.

В табл. 11.11 приведены результаты оценок годового и сезонного стока крупнейших рек России и р. Кубань, полученные на основе данных фактических наблюдений за период 1980–1999 гг., а также рассчитанные на основе базового сценария для XXI в. 20с3т, т. е. по моделям климата при факти-

Таблица 11.11

Годовой и сезонный сток (в мм) на водосборах рек России по наблюдаемым данным и расчетам по МОЦАО

Река	Модель	20С3М (1980–1999)			Фактические (1980–1999)		
		Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
Северная Двина	ЕCHAM5-OM	276	194	81			
	GFDL CM2.0	238	186	52			
	CGCM 2.3.2	269	262	7			
	Среднее	261	214	47	304	257	46
Волга	ЕCHAM5-OM	149	61	88			
	GFDL CM2.0	224	144	80			
	CGCM 2.3.2	200	180	20			
	Среднее	191	128	63	196	133	63
Енисей	ЕCHAM5-OM	227	217	10			
	GFDL CM2.0	222	212	11			
	CGCM 2.3.2	253	251	2			
	Среднее	234	226	8	245	200	45
Лена	ЕCHAM5-OM	193	191	2			
	GFDL CM2.0	129	123	6			
	CGCM 2.3.2	208	207	0			
	Среднее	177	174	3	222	206	17
Обь	ЕCHAM5-OM	128	103	25			
	GFDL CM2.0	168	148	20			
	CGCM 2.3.2	149	136	13			
	Среднее	148	129	19	132	109	23
Печора	ЕCHAM5-OM	265	238	27			
	GFDL CM2.0	249	216	33			
	CGCM 2.3.2	283	280	3			
	Среднее	266	244	21	412	367	45
Кубань	ЕCHAM5-OM	91	21	70			
	GFDL CM2.0	33	13	21			
	CGCM 2.3.2	76	41	35			
	Среднее	67	25	42	355		

ческой концентрации парниковых газов. Бассейн р. Кубань был добавлен с целью проанализировать возможность климатических моделей воспроизводить речной сток на сравнительно небольших горных бассейнах. Как видно из таблицы, за исключением рек Печора и Кубань, значения годового и сезонного стока, полученные по наблюдаемым данным и рассчитанные по трем МОЦАО, в целом не сильно различаются. Что касается р. Кубань и р. Пе-

чора, то тут можно сделать вывод о некорректном воспроизведении речного стока (по крайней мере, используемыми в данном анализе моделями МОЦАО), в бассейнах, где сток в основном формируется в горном рельефе, а также о невозможности использования результатов МОЦАО для таких небольших бассейнов, как бассейн р. Кубань, из-за крупного разрешения глобальных сеток моделей, что было уже замечено в предыдущих разделах. Все вышеуказанное требует дополнительного анализа и исследований.

В табл. 11.12 показаны данные об изменениях годового и сезонного стока на водосборах семи рек России для двух периодов первой половины XXI столетия: 2011–2030 гг. и 2031–2050 гг., полученные в соответствии с принятыми климатическими сценариями А2, В1 и 20с3т на основе обработки результатов трех моделей МОЦАО. Сценарий 20с3т использовался как базовый, т. е. осредненные значения стока за период 1981–2000 гг. полученные на основе данного сценария (см. табл. 11.11) сравнивались с осредненными величинами, полученными на основе двух других климатических сценариев. Полученные результаты дают возможность сделать вывод, что на всех водосборах используемых в анализе, за исключением р. Кубань, сток будет постепенно незначительно увеличиваться на всем протяжении первой половины XXI столетия. Причем изменения годового и сезонного стока как по сценарию А2, так и по сценарию В1, не очень различаются. Что касается бассейна р. Кубань, то вопрос о возможности применения результатов моделей МОЦАО для анализа изменения стока нуждается в дополнительном изучении.

Сравнивая результаты, приведенные в табл. 11.8–11.10 и в табл. 11.12, важно отметить, что для одних и тех же водосборов, временных периодов и климатических сценариев оценки с использованием гидрологических моделей речных водосборов и, непосредственно, по МОЦАО в виде «климатического» стока в пониженном отношении весьма существенно различаются между собой. По всей видимости, это, прежде всего, объясняется большими погрешностями в оценках по МОЦАО климатического стока по разности осадков и испарения.

Полученные в настоящем разделе оценки возможных в ближайшие десятилетия изменений стока на территории России выводы о тенденциях перспективных изменений водности в общем ана-

Изменение годового и сезонного стока (в мм) в первой половине XXI столетия на водосборах рек России по отношению к значениям для базового периода 1981–2000 гг.

Река	Модель	A2						B1					
		2011–2030			2031–2050			2011–2030			2031–2050		
		Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
Северная Двина	ЕCHAM5-OM	-8	-10	2	18	-17	34	10	-5	15	30	-5	34
	GFDL CM2.0	34	21	13	8	-5	13	22	3	19	35	13	21
	CGCM 2.3.2	17	17	0	57	56	1	20	22	-2	29	31	-1
	Среднее	14	9	5	27	11	16	17	6	11	31	13	18
Волга	ЕCHAM5-OM	11	0	11	18	-8	25	21	-10	30	20	-4	24
	GFDL CM2.0	-7	-13	5	0	-25	25	3	-17	20	16	-16	31
	CGCM 2.3.2	23	19	4	41	35	5	18	17	1	12	3	9
	Среднее	9	2	7	19	1	18	14	-3	17	16	-6	21
Енисей	ЕCHAM5-OM	22	12	10	25	18	8	9	7	3	11	6	5
	GFDL CM2.0	6	4	3	1	0	1	-13	-15	1	1	-1	2
	CGCM 2.3.2	4	2	2	15	13	2	-3	-4	2	4	0	4
	Среднее	11	6	5	14	10	4	-2	-4	2	5	2	3
Лена	ЕCHAM5-OM	8	6	2	20	19	2	12	12	0	14	13	1
	GFDL CM2.0	16	14	1	23	22	1	21	20	1	21	20	1
	CGCM 2.3.2	3	3	0	14	13	0	-9	-9	0	-3	-3	1
	Среднее	9	8	1	19	18	1	8	7	0	11	10	1
Обь	ЕCHAM5-OM	15	5	10	23	12	11	14	8	7	4	-2	6
	GFDL CM2.0	21	15	6	-1	-8	7	-5	-10	5	16	5	10
	CGCM 2.3.2	14	13	1	19	19	0	4	2	2	18	15	3
	Среднее	17	11	6	14	8	6	5	0	5	12	6	6
Печора	ЕCHAM5-OM	7	-4	11	40	10	30	8	-3	11	23	0	22
	GFDL CM2.0	63	50	13	39	26	13	36	23	13	34	30	4
	CGCM 2.3.2	7	7	0	44	44	0	0	0	-1	14	15	-1
	Среднее	25	17	8	41	27	14	14	7	8	23	15	8
Кубань	ЕCHAM5-OM	4	2	3	-3	-1	-2	0	0	-1	-1	0	-1
	GFDL CM2.0	-29	-6	-23	-6	-1	-5	-15	-2	-13	-22	-4	-18
	CGCM 2.3.2	-16	-9	-7	-14	-11	-3	-13	-8	-4	-22	-11	-11
	Среднее	-14	-4	-9	-8	-4	-4	-9	-3	-6	-15	-5	-10

логичны сделанным ранее на основе климатических сценариев, принятых в (IPCC, 2001). При продолжении процесса потепления климата в результате увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, в целом, повысится водообеспеченность большей части территории страны, при этом следует ожидать существенного увеличения водности в зимний сезон. Однако в отношении количественных оценок изменений годового и сезонного стока рек продолжает оставаться очень большая неопределенность, так как результаты расчетов по отдельным МОЦАО могут отличаться в несколько раз, а для ряда регионов и речных бассейнов дают противоречивые результаты.

11.2.3.3 Обзор результатов исследований по оценке перспективных изменений водного режима

Анализ результатов, полученных к настоящему времени в различных странах, позволяет сделать вывод о том, что для всех основных российских рек бассейна Северного Ледовитого океана при климатических сценариях, полученных как по МОЦАО, так и на основе палеореконструкций, ожидается увеличение их годового стока. По расчетам, выполненным Арнеллом (Arnell, 1999) для шести климатических сценариев, полученных по моделям HadCM2 и HadCM3, к середине XXI в. ожидается

увеличение годового стока Оби и Енисея на 5–10%, Лены — на 15–25%, а Колымы — на 30–40%. В соответствии с расчетами (Манабэ, Везеролда, 2003), выполненными исследователями по совместной модели «океан — земля — атмосфера», годовой сток Енисея и Лены к середине столетия увеличится на 12–13%, а Оби — на 21%.

Учеными (Мелешко и др., 2004) проанализирована возможная динамика крупных рек России в XXI в., рассчитанная по ансамблю из 5 МОЦАО. Несмотря на значительный разброс оценок изменения стока в ансамбле, для водосборов Печоры, Северной Двины, Енисея и Лены отмечаются на протяжении всего столетия тренды увеличения стока, статистически значимые со второй половины XXI в. В этой же работе получен вывод о том, что при потеплении климата в бассейнах Енисея и Лены произойдет существенное увеличение стока весеннего половодья. Миллером и Расселом (Miller, Russell, 1992) с использованием воднобалансовой гидрологической модели для сценария, соответствующего удвоению концентрации CO_2 , получено увеличение годового стока Енисея, Оби, Лены и Колымы в пределах 10–45%. Близкие результаты получены А. И. Шикломановым (Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003) для условий удвоения концентрации CO_2 относительно увеличения стока Печоры, а также притока к Белому и Баренцеву морям. Им же для климатического сценария, полученного в ГГИ на основе палеорекоkonструкций для условий глобального потепления на 1,5–2,0 °C (условно середина XXI в.), увеличение стока Енисея оценено примерно в 10%, при этом увеличение зимнего стока может составить примерно 60%.

Об увеличении стока Енисея к середине XXI в., главным образом за счет роста стока весеннего половодья, свидетельствуют результаты, приведенные в работе (Shen et al., 2007).

Группа ученых из Японии (Nohara et al., 2005) выполнила глобальную оценку ожидаемых к концу XXI столетия изменений осадков и стока по сравнению с 1981–2000 гг. по средневзвешенному ансамблю сценариев (WEM), основанному на 15 избранных МОЦАО при сценарии эмиссии A1B. В соответствии с представленными данными, на Севере ЕТР, на большей части Сибири и на Дальнем Востоке следует ожидать увеличения годового стока рек; в то же время в южной части ЕТР вероятно снижение стока. Применительно к конкретным речным бассейнам России эти авторы прогнозируют увеличение годового стока Амура на 15%, Лены —

на 24%, Оби — на 10%, Енисея — на 15%, Волги — на 10%. При этом авторы полагают, что меженный сток Волги будет увеличиваться, а весенний — уменьшаться.

Следует отметить, что в своих последних работах (Arnell, 2003; 2004) для перечисленных выше бассейнов России дает значительно большее увеличение годового стока. При этом ученый справедливо считает, что неопределенности в прогнозах за счет гидрологических моделей значительно меньше по сравнению с ошибками в различных климатических сценариях.

Серьезные исследования последних лет, посвящены оценкам возможных в перспективе изменений водности Волги в результате дальнейшего потепления климата. В статье (Арпе и др., 2002) по модели ECHAM4/OPYC с учетом прогнозируемого роста содержания парниковых газов в атмосфере был выполнен расчет стока Волги на перспективу до 2100 г., в соответствии с которым в XXI в. ожидается увеличение ее водности. Однако это увеличение не является равномерным и будет происходить на фоне повышенной изменчивости стока, в результате чего в отдельные многолетние периоды может отмечаться и его снижение.

Аналогичный подход для оценки возможных изменений стока Волги в середине XXI в. был реализован С. Манабэ, К. Везеролдом (Манабэ, Везеролд, 2003). В соответствии с их расчетами увеличение годового стока Волги может составить 25%.

В исследованиях (Мелешко и др., 2004, 2005) обобщены результаты расчетов возможных в перспективе изменений стока Волги, выполненных по различным МОЦАО. Авторы пришли к выводу, что на протяжении XXI в. будет происходить незначительное увеличение стока Волги, однако эти изменения будут статистически незначимыми.

Н. А. Лемешко и И. И. Борзенкова, используя в качестве прогностических сценариев климата XXI в. палеоклиматические реконструкции для трех уровней глобального потепления, путем воднобалансовых расчетов пришли к выводу о том, что при глобальном потеплении на 1 °C сток Волги не изменится, при потеплении на 2 °C — увеличится на 35 мм в год (19%), а при потеплении на 3–4 °C — на 50 мм в год (27%) (Лемешко, Борзенкова, 2004).

По мнению С. Г. Добровольского (2007), основанного на анализе результатов расчетов по ряду МОЦАО, основной чертой возможных изменений речного стока в результате глобального потепления может быть увеличение контраста между увлажнен-

ностью юго-западных и южных регионов ЕТР, где вероятно уменьшение стока, и северо-восточных и северных регионов страны, где ожидается увеличение стока.

Таким образом, результаты расчетов, полученных как в России, так и в других странах с использованием различных методических подходов и климатических сценариев будущего, свидетельствуют о том, что для рек бассейна СЛО, а также бассейна Волги получены согласованные оценки об увеличении их водных ресурсов. Исходя из этого, наиболее вероятным в ближайшие десятилетия является увеличение годового стока этих рек.

Выявлен и наиболее проблемный с точки зрения перспективной водообеспеченности регион — юго-западная часть европейской территории России, включающая бассейн Дона и российскую часть бассейна Днепра. Выполненные нами расчеты показали, что для ряда климатических сценариев в первой половине XXI в. здесь может произойти существенное снижение водности. На возможное снижение стока Дона и Днепра указывается также в работах (Мелешко и др., 2004, 2005, Добровольский, 2007). Учитывая значительное влияние хозяйственной деятельности в бассейне Дона, в результате которого безвозвратные потери его стока в настоящее время составляют $6,4 \text{ км}^3/\text{год}$ (23% от естественной нормы в устье), уменьшение водности в результате ожидаемых климатических изменений может привести к возникновению очень серьезной водной проблемы в системе «бассейн Дона — Азовское море». По нашему мнению, при перспективном планировании развития водохозяйственного комплекса бассейна Дона необходимо учитывать указанный неблагоприятный сценарий.

11.3. ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КРУПНЕЙШИХ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНЕЙ СТРУКТУРЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

В настоящее время в России и мире не существует единой методологии прогнозирования водных ресурсов и элементов гидрометеорологического режима с заблаговременностью 1—5 лет и более. По этой причине отсутствуют единые Стандарты и

ГОСТы, рекомендуемые к употреблению при прогнозах. Поэтому ниже рассматривается ряд авторских подходов к прогнозированию гидрометеорологических характеристик с большой заблаговременностью, использованных в нашей стране и за рубежом.

11.3.1. Методы прогноза

Ученые Советского Союза являются основоположниками ряда направлений в разработке методов прогноза гидрометеорологических элементов с большой заблаговременностью. Быстрорастущая экономика требовала оценки состояния водных ресурсов отдельных рек и уровней озер в ближайшей и отдаленной перспективе.

В работах многих ученых (Белинский, Калинин, 1946; Аполлов, Алексеева, 1959; Эйгенсон, 1963 и др.) особое внимание уделялось поиску зависимостей стока рек и уровней озер от солнечной активности. Это направление в дальнейшем развивалось во многих других исследованиях (Афанасьев, 1967; Дружинин и др., 1974; Антонов, 1999 и др.).

Учеными (Саруханян, Смирнов, 1971) был предложен метод прогноза стока р. Волга с большой заблаговременностью, основанный на учете влияния на его формирование трех факторов одновременно: солнечной активности, лунного деклинационного прилива и полюсного прилива.

На основе использования ряда Л. С. Берга по уровню Каспийского моря продолжительностью 484 года, в исследованиях (Шлямин, 1962) было предложено новое направление в изучении его колебаний. Указанный автор разработал метод прогноза уровня воды Каспийского моря с большой заблаговременностью, основанный на учете выявленных периодов колебаний и некоторых предположений в соотношении амплитуд в этих периодах.

В нашей стране и за рубежом (Балек, 1970) получил широкую известность метод прогноза стока рек, разработанный в Советском Союзе (Алехин, 1963). Этот метод основан на учете предыстории колебаний водных ресурсов с помощью полного коэффициента корреляции R между стоком текущего года и стоком лет, сдвинутых на определенное время t .

Начиная с 1970-х гг. при прогнозах уровня воды Каспийского моря и других озер использовался подход, основанный на моделировании рядов случайных чисел методом Монте-Карло и учете потерь

стока вследствие хозяйственной деятельности (Раткович, 1976; Раткович, 1993; Шикломанов, Георгиевский, Ежов, 2003 и др.).

В 1950–1970-х гг. получил распространение метод оценки водных ресурсов на перспективу по их среднему многолетнему значению («норме») с учетом влияния факторов хозяйственной деятельности, а при наличии в рядах стока тренда — по уравнению (линии) тренда.

Обзор указанных методов и полученных результатов прогнозов, в сравнении с наблюдаемыми данными, приведен в ряде работ (Раткович, 1993; Малинин, 1994; Ремизова, Мягков, 1995; Гетман, Пичугин, 2003 и др.).

В связи с обнаруженным ростом средней глобальной температуры воздуха на Земле были выдвинуты гипотезы-предположения о причинах этого явления. Ряд ученых придерживается мнения, что основной причиной роста температуры воздуха является увеличение содержания парниковых газов (углекислого газа, метана и др.) в атмосфере, являющееся следствием сжигания на нашей планете большого количества углеродного топлива. В ряде высокоразвитых стран (США, Великобритания, Германия, Канада и др.) были разработаны модели изменения температуры воздуха и осадков на Земле в зависимости от увеличения содержания парниковых газов. Эти модели, а также метод палеоаналогов, использовались в работах ряда сотрудников ГУ «ГГИ», МГУ и других учреждений для приближенной оценки на перспективу (2025 и 2050 гг.) изменений водных ресурсов отдельных речных бассейнов.

В исследованиях (Boykoff M. T., Boykoff J. M., 2004) сделан обзор более 600 публикаций в США по проблемам изменения климата. Авторы обзора указывают, что лишь в 35% публикаций изменения глобальной температуры воздуха объясняются парниковыми газами, а в 52,7% — совместным влиянием естественных факторов и парниковых газов.

В конце XX — начале XXI в., в связи с выявлением квазидвухлетнего цикла стратосферных ветров, 4–6-летнего цикла появления явления Эль-Ниньо (Ла-Ниньо) в ряде работ (Мещерская, 2003; Бабкин, и др., 2003) возобновлены научные исследования по разработке методов долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов. В нашей стране и за рубежом стали проводиться исследования применительно к анализу и прогнозированию временных рядов. В частности, математиками Санкт-Петербургского университета (Да-

нилов, 1997; Некруткин, 1999; Голяндина, 2004 и др.) был предложен современный метод «Гусеница» для прогнозирования временных рядов. В англоязычной литературе этот метод имеет имя SSA — Singular Spectrum Analysis (Buchstaber, 1994). В настоящее время принято полное название метода — «Гусеница»-SSA (Голяндина, 2004).

Естественно, что прогнозирование возможно только при наличии математической модели временного ряда. Эта модель должна порождаться либо эмпирическими данными, либо тестироваться на имеющихся данных. В методе «Гусеница»-SSA временному ряду $F_N = (f_0, \dots, f_{N-1})$ ставится в соответствие набор векторов (главных компонент), составленных из скользящих отрезков ряда анализируемой длины L . Эти векторы порождают траекторное подпространство R^L размерностью $d \leq L$. В работе (Buchstaber, 1994) содержатся результаты, связывающие подпространство R^L с линейными рекуррентными уравнениями и порождаемыми ими временными рядами.

В исследованиях (Данилов, 1997; Некруткин, 1999; Голяндина, 2004 и др.) идеи работы (Buchstaber, 1994) были доведены до алгоритмов прогноза временных рядов.

Таким образом, при прогнозировании с помощью метода «Гусеница»-SSA из исходного ряда составляется множество временных рядов, описываемых с помощью линейных рекуррентных формул (ЛРФ).

В том случае, когда временной ряд является бесконечным, то он управляется ЛРФ тогда и только тогда, когда является линейной комбинацией произведений экспонент, полиномов и гармоник. Ряд, управляемый ЛРФ, порождает рекуррентное продолжение, так как каждый его член равен линейной комбинации некоторого количества предыдущих. Поэтому коэффициенты этой линейной формулы могут быть использованы для продолжения временного ряда.

Если исходный временной ряд F можно представить в виде суммы ряда F_1 , допускающего рекуррентное продолжение, и остаточного ряда F_2 (шума), то тогда задача прогнозирования сводится к оценке сигнала F_1 при наличии шума F_2 .

В реальных условиях гидрометеорологические данные не позволяют точного продолжения. В этом случае для возможности прогнозирования вводится предположение о том, что при некоторой длине ряда его компоненты F_1 и F_2 приближенно разделимы с помощью рассматриваемого метода. Тогда с

помощью метода «Гусеница»-SSA мы можем приближенно восстановить ряд F_1 , получив сразу ЛРФ, приближенно управляющую им, и начальные данные для нее. Следовательно, в этом случае будет иметься необходимая информация для приближенного прогноза ряда F_1 .

Таким образом, «Гусеница»-SSA — быстро развивающийся метод прогнозирования временных рядов на основе анализа структуры их колебаний. В нем широко использованы главные компоненты и другие математические функции и понятия.

Так же как «Гусеница»-SSA, рассматриваемый ниже метод основан на анализе внутренней структуры временных рядов.

Пусть имеется n последовательных значений временного ряда наблюдений величины a . Его будем аппроксимировать функцией вида (Бабкин, 2005):

$$R = a_0 + \frac{\delta a}{2} \sin(\omega t + \varphi) = a_0 + b \sin \omega t + c \cos \omega t, \quad (11.1)$$

где a_0 — некоторое постоянное для принятого периода аппроксимации значение, у которого происходят колебания исследуемой величины, δa , ω и φ — соответственно амплитуда, частота и фаза этих колебаний.

Параметры b и c связаны с амплитудой и фазой колебаний согласно правилам сложения периодических величин с одинаковой частотой следующим образом:

$$\delta a = 2\sqrt{b^2 + c^2}, \quad (11.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{c}. \quad (11.3)$$

Аппроксимацию ряда будем проводить с использованием суммы квадратов разностей между значениями ряда и аппроксимирующей функции S_a :

$$S_a = \sum_1^n (a_i - R)^2 = \sum_1^n (a_i - a_0 - b \sin \omega t_i - c \cos \omega t_i)^2, \quad (11.4)$$

где a_i — значение исследуемой величины, взятое из данных наблюдений в год t_i , i — номер года в ряду наблюдений, n — продолжительность ряда. Выражение (11.1) аппроксимирует ряд величины a наилучшим образом, если сумма S_a наименьшая.

Чтобы определить наилучшую аппроксимирующую синусоиду с заданным периодом, необходимо объединить в систему и приравнять к 0 производные выражения (11.4) по параметрам a_0 , b и c :

$$\frac{\delta S_a}{\delta a_0} = -2 \sum_1^n (a_i - a_0 - b \sin \omega t_i - c \cos \omega t_i) = 0; \quad (11.5)$$

$$\frac{\delta S_a}{\delta b} = -2 \sum_1^n ((a_i - a_0 - b \sin \omega t_i - c \cos \omega t_i) \sin \omega t_i) = 0; \quad (11.6)$$

$$\frac{\delta S_a}{\delta c} = -2 \sum_1^n ((a_i - a_0 - b \sin \omega t_i - c \cos \omega t_i) \cos \omega t_i) = 0. \quad (11.7)$$

Решение системы (11.5–11.7) позволяет оценить амплитуду, фазу, постоянное значение a_0 , около которого колеблется аппроксимирующая функция, для любого периода аппроксимации, а также последовательности периодов. При этом суммы квадратических разностей между аппроксимирующей синусоидой и значениями ряда могут быть рассчитаны по формуле (11.4).

Далее проводится аппроксимация временного ряда синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Для каждого периода оценивались амплитуды, фазы и аддитивные константы аппроксимирующих синусоид с наименьшими суммами квадратических разностей с членами рядов наблюдений за гидрометеорологическими элементами.

Устанавливаются периоды с минимумами сумм квадратов разностей аппроксимирующей синусоиды и значений временного ряда.

Проводится сложение аппроксимирующих функций с минимумами сумм квадратических разностей от значений временного ряда. Находится среднее арифметическое дополнительных констант аппроксимации и алгебраическая сумма синусоидальных функций с соответствующими амплитудами.

Полученная таким образом сумма синусоид является моделью ряда. Она позволяет провести прогностические расчеты при продлении в будущее временного ряда наблюдений.

11.3.2. Прогнозные оценки водных ресурсов речных бассейнов

Выполненные ранее исследования (Бабкин, 2007 г.) показали, что прогнозирование элементов гидрологического режима рек и уровней озер вполне возможно с заблаговременностью 3–5 и более лет, исходя из внутренней структуры прогнозируемых рядов. На примере стока ряда речных бассейнов (Дон — Казанская, Днепр — Смоленск и др.) и субъектов Российской Федерации (Воронежская обл., Белгородская обл., Московская обл. и др.)

было показано, что разработанный математиками Санкт-Петербургского Государственного университета (Данилов, Некруткин, Голяндина и др.) метод «Гусеница»-SSA а также метод «Периодичностей» (Бабкин, 2004 г.) обеспечивают получение удовлетворительных результатов прогнозирования за отдельные годы. Средние квадратические отклонения поверочных прогнозов (на независимом материале), как правило, меньше, чем при использовании других методов (тренда, среднего значения и др.). Было получено, что оправдываемость поверочных прогнозов за отдельные годы по 34 испытуемым субъектам Российской Федерации составила 60% (при использовании метода «Периодичностей»), 56% — по тренду и 54% — по среднему многолетнему значению.

В данном разделе прогноз стока рек Российской Федерации дан не по отдельным годам, а в среднем по пятилетиям на 2005–2010 гг. и 2011–2015 гг.

Ранее было показано, что оправдываемость поверочных прогнозов пятилетних средних значений, если принять в качестве допустимой величину погрешности, равной 10%, возрастает до 81% по методу «Периодичностей», до 76% — по тренду и ближе к 50% для среднего многолетнего значения. По методу «Гусеница»-SSA для двух рассматриваемых субъектов Российской Федерации (Московская обл. и Белгородская обл.) оправдываемость прогнозов колеблется от 100% (Московская обл.) до 50% (Белгородская обл.).

Таким образом, был дан прогноз для 24 речных бассейнов нашего государства по методу «Периодичностей» на уровни 2010 г. и 2015 г. (табл. 11.13), на рис. 11.5–11.8 приведены диаграммы колебания

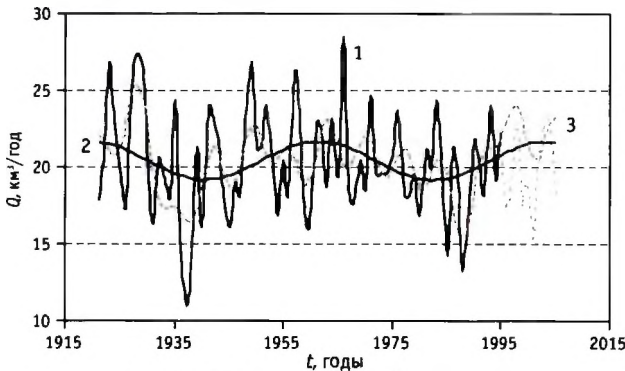


Рис. 11.5. Диаграмма колебаний стока р. Мезень — Малонисогорская:

1 — данные наблюдений (пунктирная линия — поверочный участок 1996–2005 гг.); 2 — аппроксимирующая синусоида с периодом 42 года; 3 — сумма синусоид

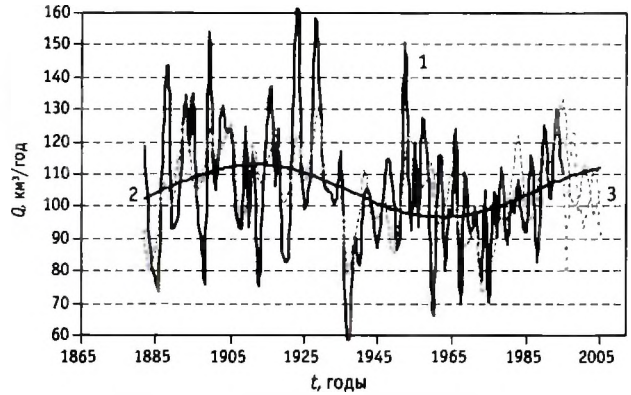


Рис. 11.6. Диаграмма колебаний стока р. Сев. Двина — Усть-Пинега:

1 — данные наблюдений (пунктирная линия — поверочный участок 1996–2005 гг.); 2 — аппроксимирующая синусоида с периодом 101 год; 3 — сумма синусоид

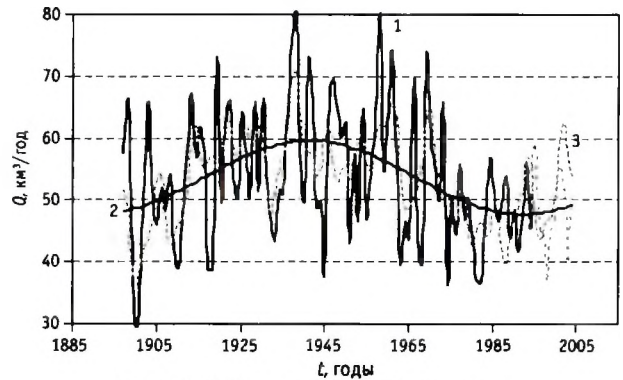


Рис. 11.7. Диаграмма колебаний стока р. Обь — Новосибирская ГЭС:

1 — данные наблюдений (пунктирная линия — поверочный участок 1995–2004 гг.); 2 — аппроксимирующая синусоида с периодом 101 год; 3 — сумма синусоид

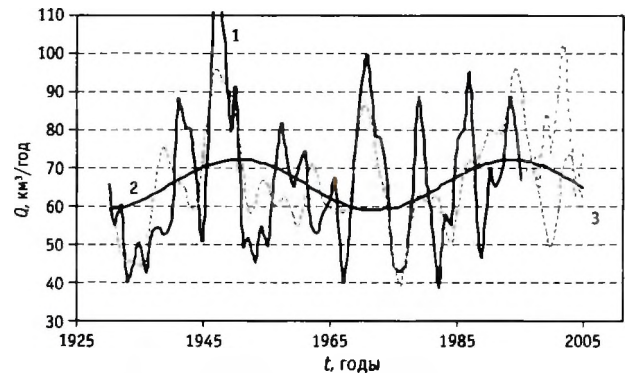


Рис. 11.8. Диаграмма колебаний стока р. Иртыш — Тобольск:

1 — данные наблюдений (пунктирная линия — поверочный участок 1996–2005 гг.); 2 — аппроксимирующая синусоида с периодом 43 года; 3 — сумма синусоид

стока рек Российской Федерации и их прогнозные значения.

Анализ данных таблицы и рисунков показывает, что на уровень 2010 г. на реках северного склона европейской части РФ будет наблюдаться фаза повышенной водности. На реках южного и западного склонов будет преобладать фаза пониженной водности (за исключением Кубани, Урала и Сулака).

На реках азиатской части России будет отмечаться мозаичная картина распределения водности рек. Сток Верхней Оби и Иртыша будет ниже среднемноголетнего значения соответственно на 1% и 29%. Водные ресурсы всей Оби ожидаются ниже среднего многолетнего значения на 1%. Водные ресурсы Енисея будут выше среднего многолетнего значения на 3%, а его притока — Ангары — ниже на 3,6%. Близкой к среднему многолетнему значению будет водность р. Лена (на 1% ниже). Водные ресурсы р. Яна и р. Индигирка ожидаются выше

среднемноголетних величин соответственно на 3% и 10%, а р. Колыма — ниже на 7%. Водность Амура ожидается выше нормы на 3,7%, а р. Камчатка останется в пределах нормы.

К 2015 г. водные ресурсы бассейнов Северной Двины, Мезени, Днепра, Невы, Западной Двины несколько возрастут по сравнению с предшествующим периодом, а р. Печоры — останутся близкими к норме. Сток рек южного склона уменьшится на 4–14%, а р. Кубань — возрастет на 3%.

Реки азиатской части России будут иметь различную водность. Несколько увеличатся (по сравнению с более ранним пятилетием) водные ресурсы Иртыша, Оби, Енисея, Колымы, Амура и Камчатки и уменьшатся Яны, Лены и Ангары.

Прогнозные оценки водных ресурсов речных бассейнов, приведенные в табл. 11.13, определены, естественно, с погрешностями. Возможные их значения, оцененные на независимом материале за

Таблица 11.13

Ожидаемые значения стока рек РФ на 2010 г. и 2015 г.

№ п/п	Речной бассейн	Среднее многолетнее значение стока, км ³ /год	Ожидаемые изменения, % от среднего многолетнего значения		Погрешности поверочных прогнозов, в % от наблюдаемого стока	
			На 2010 г.	На 2015 г.	На 2010 г.	На 2015 г.
1	Северная Двина — Усть-Пинега	105	4,9	6,0	5,0	3,7
2	Мезень — Малонисогорская	20,2	3,0	9,9	21,6	10,2
3	Печора — Усть-Цильма	108	1,7	-0,2	-0,5	-10,3
4	Днепр — Смоленск	3,02	4,2	7,8	-13,0	2,8
5	Нева — Новосаратовка	78,0	3,5	11,7	5,6	9,2
6	Западная Двина — Витебск*	7,14	-0,7	4,3	-26,8	-11,0
7	Неман — Смалининкай*	17,0	-4,1	-11,8	13,2	14,6
8	Дон — Казанская	10,2	-6,2	-4,0	-15,4	-11,0
9	Волга — Волгоградская ГЭС	252	-4,0	-5,6	-6,7	-15,8
10	Урал — Кушум*	9,52	1,3	-4,9	25,6	7,2
11	Кубань — Краснодар	12,5	12,8	3,2	-10,6	-5,5
12	Терек — Степное	9,25	-2,1	-13,9	-2,1	-11,9
13	Сулак — Миатлы	5,50	8,9	0,0	9,5	-0,01
14	Иртыш — Тобольск	67,3	-29,0	0,01	-13,8	-16,2
15	Обь — Новосибирская ГЭС	53,3	-4,1	-2,8	-0,4	17,0
16	Обь — Салехард	406	-1,0	2,0	8,4	9,9
17	Енисей — Игарка	586	3,0	7,09	-4,9	-5,7
18	Ангара — Богучаны	111	-3,6	-5,4	5,0	21,6
19	Лена — Кюсюр	532	-1,0	-2,0	7,9	12,7
20	Яна — Джангкы	29,5	3,4	-1,0	-13,9	1,6
21	Индигирка — Воронцов	49,8	9,9	3,2	-14,5	10,6
22	Колыма — Средне-Колымск	70,6	-7,1	2,8	11,3	-5,9
23	Амур — Хабаровск	263	3,7	14,4	4,4	25,5
24	Камчатка — Долиновка	7,95	0,0	3,4	-27,3	-12,5

Примечание. * Створы располагаются за пределами России.

период с 1995 по 2005 г., также представлены в указанной таблице. Принимая условно, что погрешность поверочных прогнозов до 15% от значений водных ресурсов допустима, можно предположить, что примерно в пяти бассейнах (реки Мезень, Западная Двина, Дон, Урал, Камчатка) прогнозы на 2010 г. могут не оправдаться. На уровень 2015 г. прогнозы могут не оправдаться для бассейнов Волги, Иртыша, Верхней Оби, Ангары, Амура.

Таким образом, на территории России распределение водных ресурсов в указанные периоды будет довольно мозаично. Лишь сток величайших рек мира: Амура и Енисея будет выше среднего многолетнего значения, а Лены и Оби — находиться в пределах нормы (на Лене несколько ниже).

11.4. ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В данном разделе следовало бы дать прогнозные оценки подземных водных ресурсов в будущем на перспективу до 2015—2020 гг. по аналогии с поверхностными водными ресурсами. Однако прогнозные эксплуатационные ресурсы потому и называются прогнозными, что они оцениваются на 25—50 лет вперед и выполняются согласно действующим нормативно-методическим документам в области ресурсов подземных вод применительно к существующей водохозяйственной обстановке. Поэтому мы рассмотрим только возможные сценарии, влияющие на изменение водохозяйственной обстановки и климата.

Необходимо отметить, что исследований в области влияния возможных изменений климата на ресурсы подземных вод практически не проводилось. Исключением является последняя монографическая работа В. С. Ковалевского (2001).

Возможность долгосрочных прогнозов изменений величины ресурсов подземных вод определяется рядом факторов, основными из которых являются хозяйственная (в том числе водохозяйственная) деятельность и изменения климата. При этом изменения климата могут быть обусловлены как природными, так и техногенными процессами.

Антропогенное воздействие может приводить как к увеличению ресурсов (при создании водохра-

нилищ, оросительных систем и др.), так и к их уменьшению (главным образом, вследствие загрязнения подземных вод). Как правило, оно имеет локальный, реже — региональный характер.

Изъятие земель из хозяйственного оборота также приводит к уменьшению прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Прогнозирование влияния хозяйственной деятельности возможно на основе планов комплексного развития территорий, которые в настоящее время не разрабатываются.

Изменение поверхностного стока под влиянием хозяйственной деятельности может повлиять только на ресурсы подземных вод береговых водозаборов, прежде всего с точки зрения изменения качества воды в таких водозаборах. Соответствующие прогнозы возможны только на базе прогнозов изменения гидрохимического стока рек. Учитывая небольшую долю ресурсов подземных вод береговых водозаборов в общем поверхностном стоке рек, существенных изменений ресурсов подземных вод в этом аспекте не ожидается.

Поэтому единственным фактором, влияние которого на величину естественных и прогнозных ресурсов подземных вод в региональном плане может быть рассмотрено в данном разделе, является глобальное изменение климата.

Воспользуемся для этого идеями В. С. Ковалевского, суть которых сводится к следующему.

Как известно, глобальное потепление приводит к увеличению разности между осадками и испаряемостью в северных и гумидных частях Земного шара, и наоборот, к преобладанию испаряемости над осадками в аридных зонах.

Существующие климатологические прогнозы являются, строго говоря, не прогнозами, а сценариями для условно распределенных во времени этапов при заданных изменениях климатических характеристик, возможность реализации которых не определена. Обычно рассматриваются три этапа глобального потепления (на 1, на 2 и на 3—4 °С), соответствующие началу текущего столетия, второму его десятилетию и его второй половине.

В рамках поставленной задачи достаточно было бы рассмотреть только 1 и 2 этапы на период до 2020 г.

Основные используемые методы прогнозов (по Ковалевскому) основываются на нахождении взаимосвязей между меняющимися климатическими характеристиками (в первую очередь, атмосферными осадками) и подземным стоком:

- на основе зависимости коэффициента подземного стока от степени водности года;
- на основе установленных множественных корреляционных связей;
- на основе откалиброванных моделей водного баланса замкнутого водосбора.

Необходимо отметить, что вклад изменений величины осадков в прогнозируемые изменения уровней и расходов подземных вод составляет лишь 10–30%. Кроме того, климатологические прогнозы не дают количественных представлений о внутригодовом распределении осадков и испарения.

Осуществить реальную верификацию моделей, описывающих взаимосвязь изменений климата и изменений ресурсов подземных вод, практически невозможно. Более того, долговременные гидрогеологические прогнозы базируются не на фактических, а на прогнозных климатических данных, которые тоже не поддаются верификации.

Еще один вариант прогнозирования предусматривает выявление линейных или нелинейных трендов. Он основан на следующих допущениях:

- процесс изменения климатических характеристик уже реально существует и оказывает влияние на подземные воды;
- усредненный «темп тренда» сохранится и для прогнозного периода.

Указанные обстоятельства предопределяют низкую достоверность долгосрочных прогнозов изменения ресурсов подземных вод, имеющих, по существу, экспертный характер.

Для подтверждения своих взглядов В. С. Ковалевским рассмотрен следующий пример для Московского региона.

Среднегодовое значение модуля межлетнего зимнего подземного стока составляет $2,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, а для периода 1980–1990 гг. — $2,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, средняя величина атмосферных осадков — 570 мм/год .

Осадки с 1990 до 2000 г. увеличились на 40 мм/год (условно соответствует потеплению на 1°C), а модули межлетнего зимнего подземного стока возросли на $0,15\text{--}0,2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ — до $2,7 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Прогнозируемое для данного региона увеличение количества осадков при потеплении на 2°C составляет 100 мм/год , при потеплении на $3\text{--}4^\circ\text{C}$ — 150 мм/год . Для прогнозов использовались зависимости изменений подземного стока от степени водности года. Прогнозные значения модулей межлетнего зимнего подземного стока составили $3,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ и $3,6 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, соответственно.

Таким образом, естественные ресурсы подземных вод могут увеличиться в 1,5 раза по сравнению с современной величиной. Повторим, что достоверность данной оценки определить невозможно, она указывает лишь на направленность и возможный порядок величины изменения ресурсов подземных вод.

Экспертные оценки В. С. Ковалевского (Ковалевский, 2001) следует относить к питанию грунтовых вод. Изменение питания грунтовых вод сказывается быстрее и эффективнее, чем напорных вод продуктивных горизонтов. Об этом свидетельствуют оценки «возраста» подземных вод продуктивных горизонтов тритиевым и радиоуглеродным методом. По данным В. А. Полякова, если тритиевый «возраст» вод каменноугольных горизонтов от первых десятков до первых сотен лет, то изменение величины инфильтрации атмосферных осадков вследствие потепления климата проявится с большим запозданием.

Даже если принять минимальный «возраст» подземной воды 30 лет, считая ее смесью инфильтрационных вод за период 1990–2020 гг., то максимальное увеличение питания продуктивных горизонтов не превысит 10 мм/год . При увеличении суммы атмосферных осадков на 50 мм (среднее за период 1990–2020 гг.) и величине инфильтрации 20% от атмосферных осадков питание подземных вод увеличивается на 10 мм/год , а модуль подземного стока — на $0,3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, что составляет не более 10–15% от современных оценок и лежит в пределах точности расчетов. Если принять усредненное значение возраста, которое гораздо больше, и учесть коэффициент извлечения, который всегда меньше 1, то изменение прогнозных ресурсов становится значительно меньше приведенных выше цифр.

Как видно, планируемые сценарии изменения климата до 2020 г. при любых оценках не приведут к сколько-нибудь значимым изменениям расчетных величин прогнозных эксплуатационных ресурсов.

Поскольку в ближайшие годы не планируется строительство новых крупных водохозяйственных систем, то и изменения региональных прогнозных ресурсов под влиянием водохозяйственного строительства также не ожидается.

Таким образом, изменения приведенных в разд. 8 и 10.7 величин прогнозных ресурсов, оцененных по гидрогеологическим районам, субъектам Федерации и речным бассейнам, не ожидается на период до 2020 г.

Значимые изменения прогнозных ресурсов могут затронуть отдельные эксплуатируемые и неэксплуатируемые месторождения подземных вод, либо участки, перспективные для выявления новых месторождений. Они могут быть связаны с влиянием изменения антропогенной, в том числе водохозяйственной, обстановки в районе перечисленных типов участков недр. Но в таких случаях необходимы конкретные прогнозы изменения прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод на этих участках.

11.5. ОЖИДАЕМАЯ В ПЕРСПЕКТИВЕ ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ

Учитывая большой объем имеющейся и постоянно накапливаемой гидрохимической информации и тот факт, что данные по качеству воды чаще всего распределяются асимметрично, при оценке многолетних тенденций содержания отдельных загрязняющих веществ в поверхностных водах использовались непараметрические статистики, дающие возможность исследования пространственно-временных изменений химического состава воды водных объектов как на фоновом уровне, так и в результате антропогенных изменений. Применение непараметрических методов при оценке тенденций качества поверхностных вод в многолетнем плане является надежным и перспективным методом.

Распределение концентраций рассматриваемых показателей качества поверхностных вод России характеризуется в подавляющем большинстве отсутствием нормальности и наличием выраженной в разной степени асимметрии. Для загрязняющих веществ, концентрации которых зависят от количества и качества сбрасываемых сточных вод, асимметрия концентраций в створах, расположенных ниже сброса сточных вод выше, чем в створах, не подверженных влиянию сточных вод. Появление так называемых хвостов распределения, смещенных в области повышенных концентраций, обусловлено увеличением антропогенных воздействий на водный объект.

Для биологически активных загрязняющих веществ характерно наличие сезонности, т. е. статистически достоверных отличий концентраций, ранжированных по сезонам, месяцам или другим периодам года. Для большинства загрязняющих

веществ характерно наличие высокой межгодовой дисперсии, обусловленной аномальными значениями концентраций веществ, происхождение которых, скорее всего, связано с неординарными явлениями (аварийный сброс сточных вод, залповые поступления загрязняющих веществ после ливневых дождей, возможные ошибки при выполнении химического анализа проб воды). Для большинства рассматриваемых рядов концентраций загрязняющих веществ отмечается присутствие автокорреляции, которую можно интерпретировать как наличие связи между предшествующими и последующими значениями концентрации.

Перечисленные особенности распределения рядов концентраций рассматриваемых загрязняющих веществ усложняют задачу выявления временных тенденций (трендов). В этих условиях наиболее подходящими являются непараметрические статистики.

Для изучения относительных многолетних изменений (ОМИ) выбран монотонный тренд Кендалла, поскольку этот метод учитывает весь временной ряд и может служить в качестве средства получения многолетних изменений (в данном случае концентраций отдельных загрязняющих веществ в поверхностных водах). При этом был использован программный пакет «RAISON», разработанный Национальным институтом водных ресурсов (Канада).

Для выявления тенденций в изменении значений основных загрязняющих веществ, характеризующих качество поверхностных вод в наиболее напряженных в экологическом отношении пунктах, расположенных в крупных речных бассейнах, в отдельных федеральных округах и субъектах Российской Федерации европейской и азиатской территории России, проанализированы многолетние ряды (от 15 до 30 лет) гидрохимических данных.

Ниже представлены результаты анализа многолетних данных о содержании характерных загрязняющих веществ в поверхностных водах России.

Центральный федеральный округ

Воронежская область, р. Дон, г. Воронеж, Соседины меди и железа относятся к характерным загрязняющим веществам воды реки на этом участке. Наиболее высокие концентрации соединений меди (свыше 40–50 ПДК) характерны для периода 1976–1980 гг.; соединений железа — до 1,5–2 ПДК в отдельные годы в течение периода 1980–1990 гг.

И, скорее всего, обусловлены наибольшим сбросом сточных вод предприятий г. Воронеж. В многолетнем плане отмечается уменьшение в воде р. Дон, г. Воронеж, концентраций соединений меди и практически не изменяющееся содержание в воде соединений железа.

Северо-Западный федеральный округ

Ленинградская область, р. Карповка, одна из малых рек, на которой расположен крупнейший город России — Санкт-Петербург. Для реки характерно достаточно высокое содержание в воде легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) до 4–6,5 ПДК в 1979–2001 гг., в 2002–2005 гг. и в последующие годы отмечается тенденция уменьшения величин БПК₅ воды до значений, не превышающих ПДК. В содержании в воде р. Карповка нитритного азота существенных изменений в многолетнем плане не наблюдается. Для соединений меди отмечен убывающий в многолетнем плане тренд.

Калининградская область, р. Преголя, г. Калининград. По комплексным оценкам вода реки оценивается 4 классом качества разряда «а», как «грязная». В многолетнем плане возможно ухудшение качества воды, т. к. при анализе гидрохимических данных отмечен положительный тренд для концентраций основных загрязняющих веществ: легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), аммонийного и нитритного азота, лигносульфонатов.

Южный федеральный округ

Краснодарский край, р. Кубань, г. Краснодар, г. Темрюк. Характерными загрязняющими веществами воды р. Кубань в нижнем течении являются: у г. Краснодар — соединения меди, железа, фенолы; у г. Темрюк — соединения меди, железа, нефтепродукты. Анализ многолетних данных по содержанию этих загрязняющих веществ в воде устьевое участка р. Кубань свидетельствует о наличии отрицательных трендов по содержанию соединений меди и железа в воде реки у г. Краснодар и нефтепродуктов у г. Темрюк, положительного тренда по соединениям железа у г. Темрюк. Не произойдет существенных изменений в многолетнем плане в содержании в воде р. Кубань (устьевой участок) фенолов, соединений меди.

Ростовская область, р. Дон. Как показывают данные наблюдений, отмечается тенденция изменений в многолетнем плане: уменьшение содержания в

воде р. Дон, г. Ростов-на-Дону, нефтепродуктов и нитритного азота и возрастание сульфатов. Устойчивая тенденция увеличения в воде устьевое участка р. Дон (г. Ростов-на-Дону) содержания сульфатов является результатом негативного, как антропогенного, так и природного влияния: сельскохозяйственной деятельности, миграционных потоков солеобразующих компонентов из засоленных почвогрунтов водосбора.

Астраханская область, р. Волга, г. Астрахань. По комплексным оценкам вода р. Волга, г. Астрахань, оценивается 4 классом качества разрядов «а» и «б», как «грязная». Высокие концентрации нефтепродуктов, превышающие ПДК в десятки раз в воде р. Волга в нижнем течении, характерны для периода 1986–1990 гг. В дальнейшем наблюдалось снижение концентраций нефтепродуктов до величин, незначительно превышающих ПДК. Анализ многолетней гидрохимической информации на этом участке Волги выявил наличие отрицательного тренда для нефтепродуктов и положительного для фенолов. Существенных изменений в содержании соединений меди и цинка не прогнозируется.

Приволжский федеральный округ

Республика Башкортостан. Соединения меди являются характерными загрязняющими веществами воды р. Белая и р. Уфа. Наиболее высокие разовые концентрации соединений меди в воде этих рек отмечали до 23–43 ПДК в течение 1987–1993 гг. для р. Белая, 1987–1995 гг. для р. Уфа. В последующие годы отмечалось уменьшение концентраций соединений меди, в отдельных случаях до величин не превышающих ПДК. Анализ многолетних данных показал наличие отрицательного тренда по содержанию соединений меди как в воде р. Белая, г. Дюртюли, так и в воде р. Уфа, г. Уфа.

Уральский федеральный округ

Екатеринбургская область, р. Исеть. Основную антропогенную нагрузку река испытывает на участке г. Екатеринбург — г. Каменск-Уральский. В течение десятилетий вода р. Исеть оценивается как «грязная», либо «очень грязная». К характерным загрязняющим веществам воды реки относится большой ряд ингредиентов и показателей качества воды. Была проанализирована многолетняя информация по изменению концентраций соединений меди и нитритного азота. Наиболее высокие кон-

концентрации соединений меди, превышающие ПДК в 250–350 раз, наблюдали в течение 1988–1991 гг., нитритного азота до 45–75 ПДК в 1987–1996 гг., в последующие годы концентрация соединений меди уменьшилась в 10–15 раз, нитритного азота до 2–10 ПДК. Согласно отрицательному тренду при сохранении тех же условий окружающей среды возможно дальнейшее уменьшение в воде р. Исеть, (г. Екатеринбург) концентраций соединений меди и нитритного азота.

Река. Чусовая, г. Первоуральск. Наиболее загрязненный водный объект в бассейне р. Кама. В подавляющем большинстве лет вода реки оценивалась как «грязная» (4-й класс качества), в отдельные годы как «очень грязная» (4-й класс качества). Содержание в воде реки соединений меди и шестивалентного хрома в отдельные годы превышало уровень высокого (ВЗ) и экстремально высокого (ЭВЗ) уровня, несколько снизившись в последние годы.

Восточно-Сибирский Федеральный округ

Новосибирская область, р. Обь. Вода реки в районе г. Новосибирск характеризуется как «загрязненная» и «очень загрязненная». Анализ многолетней гидрохимической информации показал возрастающий тренд по содержанию в воде реки соединений железа, убывающий тренд по соединениям меди, нефтепродуктов, фенолов.

Алтайский край В районе г. Барнаул в воде р. Обь положительных существенных изменений в концентрациях основных загрязняющих веществ: аммонийного азота, нефтепродуктов, фенолов, соединений меди не произойдет.

Дальневосточный Федеральный округ

Хабаровский край, р. Амур, г. Николаевск. Для этого участка реки характерно увеличение в воде фенолов и соединений меди, что подтверждается результатом анализа многолетних гидрохимических данных.

Республика Саха (Якутия), р. Лена, г. Якутск. В районе г. Якутск вода р. Лена оценивается как «загрязненная», в отдельные годы — «очень загрязненная». Анализ рядов концентрации фенолов и соединений меди в многолетнем плане показал уменьшение содержания этих ингредиентов в пространстве.

Река Колыма, г. Усть-Среднекан. Характерными загрязняющим веществами воды р. Колыма явля-

ются соединения металлов. Анализ многолетней информации по содержанию в воде реки соединений свинца, меди, марганца показал увеличение в перспективе концентраций в воде р. Колыма, в районе г. Усть-Среднекан перечисленных соединений металлов.

11.6. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

11.6.1. Исходные данные и методический подход

Прогнозы водопотребления в совокупности с оценками водных ресурсов на перспективу крайне необходимы для решения проблем устойчивого водообеспечения в ближайшем и отдаленном будущем и сохранения окружающей природной среды.

Как показано выше (см. гл. 9 и 10), величины и динамика основных видов водопотребления — промышленного, коммунального и сельскохозяйственного определяются существенно различными факторами и имеют весьма специфические тенденции развития, что необходимо учитывать при прогнозных оценках на перспективу. В связи с этим ниже эти виды водопотребления рассматриваются отдельно.

Промышленное водопотребление. Для территории современной России этот вид водопотребления является наиболее важным и в значительной степени определяет объем суммарного водопотребления в большинстве регионов и обуславливает основную нагрузку на водные ресурсы как в отношении их количественных показателей, так и влияния на загрязнение природных вод.

Для надежной оценки объемов промышленного водопотребления на перспективу необходимо иметь долгосрочные перспективные планы развития промышленного производства и, прежде всего, наиболее водоемких отраслей промышленности и, в обязательном порядке, планируемые схемы промышленного водоснабжения (прямоточная или оборотная). Как известно, в развитых промышленных странах мира на долю теплоэнергетики (включая атомные станции) приходится большая часть промышленного водопотребления (например, в Рос-

сии — 70–72%, в США — 82–87%). К другим наиболее водопотребляющим отраслям относятся химическая и нефтехимическая промышленность, лесная и целлюлозно-бумажная, металлургическая, машиностроительная и металлообрабатывающая, пищевая. Естественно, что от планируемого объема развития указанных отраслей промышленности в значительной степени зависит и величина общего промышленного водопотребления.

Объемы промышленных водозаборов и сбросов использованной воды определяются — также принятыми схемами водоснабжения. На большинстве крупных промышленных предприятий забранная из водных объектов вода неоднократно используется в оборотном и повторно-последовательном циклах. Для характеристики таких систем для отдельных предприятий, в целом для отраслей промышленности или для промышленного водопотребления того или иного региона обычно используется коэффициент оборота воды в промышленном водоснабжении $K_{об}$, который определяется или просто по количеству циклов использования свежей воды по соотношению объема воды, используемой в оборотном и повторно-последовательном водоснабжении $W_{об}$, к объему свежей воды, поступившей в систему водоснабжения $W_{св}$, или (чаще всего) по выражению:

$$K_{об} = \frac{W_{об}}{W_{об} + W_{св}}. \quad (11.8)$$

Коэффициент оборота воды $K_{об}$ является важнейшим показателем эффективности использования воды в отраслях материального производства; выраженный в процентах, этот показатель называется еще экономией свежей воды за счет оборотного водоснабжения (Демин, 2000; 2005). По данным этого автора, на уровень 1997 г. величина $K_{об}$ в среднем для промышленного водопотребления в России составляла 78%, изменяясь по основным водопотребляющим отраслям от 69 до 94%; при этом наибольшие величины характерны для топливной, металлургической и химической отраслей промышленности, в которых в соответствии с технологией производства наиболее широко применяется оборотное водоснабжение.

По данным (David, 1990), в США за тридцатилетний период (с 1954 по 1984 г.) отношение объема использованной в промышленности воды к объему водозабора увеличилось от 20% до 230% в зависимости от отрасли, а расходы воды на единицу продукции уменьшились с 2 до 5–6 раз (см. вы-

ше, рис. 9.4 в гл. 9) и продолжают уменьшаться. Важность увеличения $K_{об}$ имеет огромное значение не только в отношении экономии свежей воды, но и для резкого уменьшения объемов сбросов использованных промышленных вод, которые в промышленно-развитых регионах являются основным фактором загрязнения окружающей среды и деградации водных объектов, поэтому в перспективных планах развития промышленного производства в обязательном порядке должно предусматриваться максимально возможное использование систем оборотного водоснабжения.

Таким образом, для прогнозной оценки промышленного водопотребления требуются перспективные планы развития промышленного производства и планируемые показатели использования оборотных систем водоснабжения. При этом для детальных и надежных оценок указанные характеристики необходимо иметь применительно ко всем наиболее водоемким отраслям промышленного производства и ко всем регионам — субъектам РФ и федеральным округам, а также к речным бассейнам. К сожалению, до настоящего времени все эти данные отсутствуют. Нет даже детально разработанного и официально утвержденного долгосрочного стратегического плана развития до 2015–2020 гг. российской экономики в целом, не говоря уже о региональных аспектах и факторах, связанных с проблемами промышленного водоснабжения.

Применительно к долгосрочному перспективному развитию российской экономики имеются лишь опытные разработки отдельных авторов и научных коллективов, которые однако не получили широкого обсуждения и тем более какого-то официального утверждения и даже рекомендаций для использования. Среди этих разработок наиболее серьезными и представительными, по мнению авторов настоящего раздела, являются следующие работы, некоторые выводы из них и использованы нами для приближенной прогнозной оценки промышленного водопотребления в России на период до 2020 г. Это исследование А. Р. Белоусова (Белоусов, 2005), выполненное в Центре макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования, и доклад «Долгосрочный прогноз развития экономики России на 2007–2030 гг. (по вариантам)», (2007 г.), подготовленный специалистами Института народнохозяйственного прогнозирования РАН под руководством академика В. В. Ивантера и д-ра экономич. наук М. Н. Узякова, в предисловии к которому авторы указывают: «...учитывая

сложность и масштабность задачи долгосрочного прогнозирования экономики России, данный доклад следует рассматривать лишь как первое приближение того, что могло бы стать ориентиром долгосрочного развития экономики страны. Безусловно, требуется более детальная проработка долгосрочных перспектив развития межотраслевых комплексов, проблем технологического развития, не говоря уже о пространственном образе будущего российской экономики».

А. Р. Белоусов (Белоусов, 2005) выделяет четыре возможных сценария долгосрочного развития, отражающих разное сочетание ключевых факторов роста и имеющих весьма характерные названия (Белоусов, 2006): сверхиндустриальная модернизация, бросок в глобализацию, экономический изоляционизм и энергетический аутизм. Первый сценарий является наиболее оптимистичным и предполагает динамичное долговременное развитие страны с высоким ростом ВВП. По этому сценарию в период 2006–2008 гг. годовой рост ВВП определен в 4,8–5,8%, как период накопления потенциала для будущего развития страны, в период 2009–2012 гг. предполагается рост 6,7%, в 2013–2016 гг. — 6,3%, в период 2017–2020 гг. — 5,8%, меньший рост за счет влияния демографического фактора. По остальным трем сценариям в период до 2008 г., как и в первом сценарии, годовой рост ВВП предполагается в 4,8–5,8%, а в остальные периоды в зависимости от сценария, он определен до 2012 г. от 4,4 до 6,1%, до 2016 г. — от 2,9 до 5,1% и до 2020 г. — от 2,0 до 4,5%.

В работе Института народнохозяйственного прогнозирования рассматриваются два принципиально различных варианта долгосрочного развития экономики России: инвестиционный вариант и инерционный вариант. Инвестиционный вариант основывается на предположении о возможности достижения устойчивых высоких темпов экономического роста на всем прогнозном интервале до 2030 г.; такой вариант является крайне желательным и благоприятным для российской экономики. По этому варианту рост ВВП (в % за год) определяется в 7,9 за период 2006–2010 гг., в 8,3 — за 2011–2015 гг. и в 8,3 за 2016–2020 гг.; соответственно показатели роста промышленного производства за эти три периода определены в 7,3%, 8,0% и 8,3%.

Инерционный вариант основан на гипотезе сохранения базовых тенденций в экономическом развитии, что означает относительно высокие темпы в ближайшие годы и их постепенное снижение

в перспективе в результате уменьшения прироста инвестиций в накопление основного капитала. По этому варианту определен рост ВВП в 6,2% за период до 2010 г., в 6,0% — до 2015 г. и в 5,7% — до 2020 г.

Как видим, приведенные варианты перспективного развития российской экономики варьируют в очень больших пределах, особенно на долгосрочную перспективу: до 2015 г. показатели роста ВВП варьируют от 2,9 до 8,3% и до 2020 г. — от 2,0 до 8,3% в год.

Исходя из приведенных прогнозных данных и темпов развития экономики за последние годы, нами в оценках принят достаточно осторожный и, по нашему мнению, наиболее реальный вариант перспективного роста российской промышленности: до 2010 г. — 6,5% в год; с 2011 по 2015 г. — 6,0% и с 2016 по 2020 гг. — 5,5%.

В этом варианте начальные показатели практически соответствуют современным показателям развития, а на последующие годы они вполне отвечают наиболее оптимистичному прогнозному сценарию А. Р. Белоусова и пессимистичному варианту развития экономики, разработанному специалистами Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. Поскольку указанные сценарии разработаны наиболее опытными и квалифицированными российскими специалистами, можно надеяться на реальность принятых нами общих показателей перспективного развития промышленности в России.

Говоря о роли систем оборотного водоснабжения при долгосрочном прогнозировании промышленного водопотребления, целесообразно обратиться к опыту такого прогнозирования, имеющегося в различных странах мира, и к анализу современного состояния промышленного водопотребления в этих странах.

В самом начале 1970-х гг. в США была сделана прогнозная оценка промышленного водопотребления на период до 2000 г., согласно которой предполагалось, что к концу столетия оно возрастет с 242 до 810 км³/год или в 3,3 раза (Калинин, Шикломанов, 1974). Такой прогноз в основном ориентировался на планируемые темпы роста промышленного производства и не учитывал широкого использования оборотного водоснабжения, которое стало интенсивно внедряться уже после 1975 г., и, естественно, этот прогноз не оправдался. На самом деле промышленное водопотребление своего максимума достигло в 1980 г. на уровне 360 км³/год

и затем стало постепенно снижаться и уже к 1995 г. составило 300 км^3 (Gleick, 1998); в настоящее время эта величина уже близка к уровню 1970-х гг.

Аналогичная ситуация с долгосрочным прогнозом промышленного водопотребления наблюдалась и в бывшем СССР: в 1970 г. его объем составлял 66 км^3 в год и, в связи с планируемым ростом промышленного водозабора, прогнозировалось увеличение промышленного водозабора к 2000 г. до $220 \text{ км}^3/\text{год}$ или 3,3 раза (так же, как в США). Однако, как хорошо известно, уже с начала 1980-х гг. за счет широкого внедрения оборотного и повторно-последовательного водоснабжения объем водопотребления практически стабилизировался, а с начала 1990-х гг. стал интенсивно падать в результате экономического кризиса и сокращения пути наполовину промышленного производства в стране.

Стабилизация и даже сокращение объема водопотребления при росте производства в последние десятилетия характерны и для других промышленно-развитых стран (Postel, 1992). Промышленное производство в Японии постоянно увеличивается с 1970 г., в то время как промышленное использование воды к 1990 г. уменьшилось более чем на 25%. В 1965 г. Япония затрачивала около $48\,000 \text{ м}^3$ воды, чтобы произвести на 1 млн долларов промышленной продукции; в 1989 г. затраты воды на 1 млн долларов продукции (в тех же величинах) уже составили $13\,000 \text{ м}^3$, т. е. продуктивность использования воды в промышленности повысилась более чем в три раза. В Швеции за период с 1965 по 1975 г. при росте промышленного производства произошло двукратное уменьшение водопотребления (см. выше график на рис. 9.5), чему способствовало принятое в стране законодательство, которое строго обязывало предпринимателей широко использовать эффективные системы оборотного водоснабжения в промышленности.

В бывшей Западной Германии по данным (Postel, 1997) суммарное потребление воды в промышленности в 1995 г. было на том же уровне, что и в 1975 г., хотя промышленное производство выросло на 44%. Близкие показатели промышленного водопотребления имели место и в России в период 1980-х гг. прошлого столетия. По данным Росводресурсов (Российский статистический ежегодник, 2005) в 1980 г. объем промышленного водопотребления составлял $64,5 \text{ км}^3$, а в 1990 г. — $61,1 \text{ км}^3$, т. е. уменьшился на 5,5%, хотя за этот же период промышленное производство выросло более чем

на 40%, а объем воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения увеличился со 110 до 171 км^3 в год, или более чем в полтора раза, а коэффициент $K_{об}$ возрос с 63 до 76%. Таким образом, в этот период рост промышленного производства в стране в полном объеме обеспечивался не увеличением водозабора свежей воды, а за счет систем оборотного водоснабжения.

Примерно такая же картина имеет место в России в настоящее время: за последние 8 лет промышленное производство выросло на 73%, а промышленное водопотребление сократилось с $43,1$ до $40,5 \text{ км}^3$ в год или примерно на 6,4%, т. е. принципиально ситуация мало чем отличается от 1980-х гг. прошлого столетия, и она вполне благоприятна и с точки зрения экономики использования свежей воды, и сокращения сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты, что крайне важно для охраны окружающей среды.

Опыт многих зарубежных стран и практика нашей страны в 1980-е гг. и в последнее время дают хорошую основу для разработки концепции долгосрочной прогнозной оценки промышленного водопотребления в России. Суть этой концепции заключается в том, что ожидаемый на перспективу интенсивный рост промышленного производства должен быть в максимальной степени обеспечен не за счет увеличения водозаборов свежей воды, а в результате увеличения объемов воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения. Для этого, естественно, необходимо широко использовать эти системы во всех отраслях промышленности и, таким образом, увеличивать значение коэффициента водооборота $K_{об}$.

Как показывает анализ данных по водопотреблению по субъектам РФ за последнее десятилетие, коэффициенты $K_{об}$ по регионам изменяются в очень больших пределах — от 10 до 97%. При этом более чем в 70% субъектов РФ величины $K_{об}$ составляют более 60% и за последние 5 лет имеют некоторую тенденцию к увеличению. Из семи федеральных округов за последние пять лет коэффициенты оборота воды в промышленном водопотреблении увеличились в пяти округах и только в двух — в Центральном и Приволжском остались без изменений, однако на достаточно высоком уровне: здесь $K_{об} = 0,81$.

Наряду с этим в ряде субъектов РФ (например, Костромская, Ленинградская, Мурманская области, Ставропольский край), при огромных объемах промышленного водопотребления (в основном за счет водозаборов мощными тепловыми и атомны-

ми электростанциями) системы оборотного водоснабжения не получили развития, и величины $K_{об}$ в этих регионах имеют очень низкие значения (10–40%). Низкими коэффициентами $K_{об}$ (< 40%) характеризуются и некоторые другие субъекты РФ, в которых объемы промышленного водопотребления весьма незначительны — Псковская, Пензенская и Камчатская области, Республики Калмыкия и Бурятия. В целом вполне можно полагать, что во всех регионах РФ имеются реальные возможности в условиях интенсивного роста промышленного производства более широкого развития систем оборотного водоснабжения в промышленном водопотреблении.

Таким образом, исходя из приведенного выше анализа многолетнего российского и зарубежного опыта по динамике промышленного производства и водопотребления и современного состояния с водопотреблением в РФ, принят следующий приближенный методический подход прогнозной оценки промышленного водопотребления в России на период до 2015–2020 гг.

1. В качестве исходных данных для прогнозных оценок для каждого субъекта РФ принимаются характеристики промышленного водопотребления (водозабор свежей воды, объем воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, $K_{об}$) за 2005 г.

2. Определяется объем оборотной воды, необходимый для обеспечения растущего промышленного производства. Он устанавливается на каждый расчетный уровень (2010, 2015 и 2020 гг.) пропорционально росту промышленного производства, но в несколько меньших объемах, полагая, что в перспективе в ряде отраслей можно ожидать использование технологий, требующих существенно меньших объемов воды на производство единицы продукции. Для большинства регионов это уменьшение принято равным 0,9. Исключение составляют регионы, где оборотное водоснабжение или практически вообще не используется, или используется в очень небольших объемах ($K_{об} < 0,20$). В этих случаях увеличение объемов оборотной воды устанавливается методом экспертных оценок, и оно может значительно превышать рост промышленного производства.

3. В каждом регионе на основании разработанного методического подхода устанавливается предполагаемый рост значений $K_{об}$ на расчетные уровни 2010, 2015 и 2020 гг. по отношению к фактическим данным за 2005 г. Этот подход базируется в основ-

ном на использовании величин значений $K_{об}$, достигнутых на современный уровень, а также исходя из анализа их динамики за прошлые годы с учетом, по методу экспертных оценок, материально-технических возможностей каждого региона, ситуации с водообеспечением и нагрузкой на водные ресурсы с точки зрения количественных показателей использования пресной воды и загрязнения водных объектов. Естественно, что значения предполагаемого на перспективу роста величин $K_{об}$ в каждом регионе будут в очень значительной степени зависеть от их начальных значений на уровень 2005 г. Так, в соответствии со специально составленной для практических расчетов таблицей, при величинах на уровень 2005 г. $K_{об} = 97–95\%$, их увеличение на уровни 2010, 2015 и 2020 гг. устанавливается в пределах от 0,5 до 2,5%, а при $K_{об} = 55–35\%$ — в пределах от 6,5 до 24%.

4. С учетом установленных на перспективу для каждого субъекта РФ показателей объемов оборотной воды и значений $K_{об}$ по формуле (11.8) определяются величины использования свежей воды в промышленности. Путем обобщения полученных данных определяются соответствующие показатели для федеральных округов, отдельных речных бассейнов, гидроклиматических регионов и для России в целом.

5. Величины безвозвратного водопотребления на нужды промышленности (в % от водозабора) оцениваются в соответствии с рекомендациями, изложенными выше, в разд. 9.2.3, на уровне 2001–2005 гг.

Анализ полученных таким образом результатов вместе с оценками по другим видам водопотребления представлен в следующем разделе.

Коммунальное водопотребление. Как показано в разд. 9.2.2., объем коммунального водопотребления в любом регионе определяется численностью городских жителей и величиной удельного водопотребления, выраженной в л/сутки на одного жителя, которая зависит от степени благоустройства городов, т. е. от наличия водопроводов, канализации, централизованного горячего водоснабжения, а также от климатических условий. В величину удельного водопотребления обычно включают и затраты воды на общегородские нужды: полив улиц и зеленых насаждений, обеспечение водой всех городских учреждений, а также промышленности, работающей на нужды городского населения и потребляющей воду высокого качества из городских водопроводов.

На уровень 2005 г. объем коммунального водопотребления в России составил 12,3 км³ в год, или 322 л/сут на каждого городского жителя. В соответствии с данными, приведенными выше, в гл. 9 (см. рис. 9.3), изменения показателей коммунального водопотребления во времени имеют устойчивую тенденцию снижения за последние 15 лет; с 1990 г. объем водопотребления уменьшился с 14,6 до 12,3 км³ в год, или почти на 19%, а удельное водопотребление с 370 до 322 л/сут, или на 15%. При этом, как показано выше, в табл. 10.6, эта тенденция имеет место во всех федеральных округах; она характерна и для большинства субъектов РФ. В частности, это можно показать на примере Москвы и Санкт-Петербурга. Так, за период с 1995 по 2005 г. численность населения Москвы увеличилась с 8,72 до 10,55 млн, а объем водопотребления уменьшился с 2,07 км³ до 1,65 км³, т. е. величина удельного водопотребления сократилась в 1,5 раза (с 650 до 428 л/сут). По Санкт-Петербургу за тот же период объем коммунального водопотребления уменьшился с 0,678 до 0,559 км³, в то время как численность населения уменьшилась всего с 4,8 до 4,6 млн, т. е. удельное водопотребление сократилось с 387 до 329 л/сут, или почти на 18%.

Тенденция к снижению коммунального водопотребления в большинстве субъектов РФ достигнута благодаря комплексу мероприятий по экономии питьевой воды и обеспечению контроля за ее потреблением: установка приборов учета использования воды и водосберегающей санитарно-технической аппаратуры в квартирах, офисах и в производственных зданиях, сокращению воды на собственные нужды предприятий жилищно-коммунального хозяйства, замена устаревших систем водопроводов, а также использование более экономных технологий водоснабжения в промышленности, обеспечивающей нужды городского населения. К этому следует добавить все чаще применяемые в городах методы экономического стимулирования рационального использования питьевой воды.

Принимая во внимание, что все перечисленные мероприятия в той или иной степени, но все более широко используются не только в крупных, но и в небольших городах, а также учитывая намечаемые грандиозные перспективные планы по совершенствованию жилищно-коммунального комплекса в нашей стране, вполне можно ожидать дальнейшего постепенного сокращения объемов коммунального водопотребления в РФ. Такие предположения

вполне обоснованны и потому, что современные величины удельного водопотребления в наших городах существенно (до полутора раз) превышают соответствующие показатели ведущих стран Европы (Германия, Великобритания и др.), в которых в последнее десятилетие значительно сократились величины удельного водопотребления без снижения уровня комфортности населения.

На основании фактического анализа экономии воды в различных субъектах РФ, а также принимая во внимание существующие в России нормы коммунального водопотребления и международный опыт, методом экспертной оценки приняты следующие показатели уменьшения удельного водопотребления по субъектам РФ на период 2010, 2015 и 2020 гг.: 10, 15 и 20%, соответственно, по отношению к средним показателям за период 2000–2005 гг. Объем коммунального водопотребления на каждый расчетный уровень устанавливается путем умножения удельных величин водопотребления на прогнозную численность городского населения. Величины безвозвратного водопотребления (в % от водозабора) принимаются в соответствии с рекомендациями, изложенными в разд. 9.2.2, на уровень 2000–2005 гг.

Анализ результатов оценки совместно с другими видами водопотребления для регионов и основных речных бассейнов России представлен в следующем разделе.

Сельскохозяйственное водопотребление. Для прогнозной оценки объемов водопотребления на нужды сельского хозяйства (орошение и сельскохозяйственное водоснабжение) прежде всего необходимы долгосрочные перспективные планы развития орошаемого земледелия в стране, в том числе распределение орошаемых земель по территории — по регионам и основным речным бассейнам. Единственным документом, который в той или иной мере отвечает этим планам, является «Концепция развития комплексных мелиораций и повышения продуктивности мелиорируемых земель». Она была разработана в 2004 г. группой ученых Волгоградского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ВНИИОЗ) под руководством академика И. П. Кружилина, одобрена Президиумом Россельхозакадемии и затем утверждена Правительством РФ. Краткое изложение Концепции можно найти в публикации Президиума Россельхозакадемии и в статье (Кружилин и др., 2006).

На основании анализа развития мелиораций в России авторы Концепции считают, что для устой-

Таблица 11.14

Современное и перспективное размещение орошаемых земель по территории природно-экономических районов РФ, тыс. га

Район	2000	2005		2010	2015	2020
	площади орошения	площади орошения	политые площади	площади орошения		
Северный	5,3	—	—	—	—	—
Северо-Западный	15,8	16,7	0,2	—	—	—
Центральный	272	257	59,2	—	—	—
Волго-Вятский	76,3	104	18,9	—	—	—
Поволжский	(1435)	1142	655	1200	2170	3200
ЦЧО	253	246	102	250	450	600
Северо-Кавказский	1678	1752	1352	1760	1780	1800
Уральский	333	319	77,2	325	430	1600
Западно-Сибирский	266	243	115	245	600	2200
Восточно-Сибирский	289	292	188	300	510	800
Дальневосточный	111	122	4,2	—	—	—
Калининградская обл.	2,3	2,1	0,1	—	—	—
Итого по РФ	4466	4497	2578	4550	6000	10200

чивого развития сельского хозяйства и не прибегая к межбассейновым переброскам стока, можно ограничиться увеличением площадей орошаемых земель в стране до 10,2 млн га. При этом в целом по России восстановление и развитие оросительных мелиораций предлагается выполнить в три этапа.

На первом этапе (2010 г.) планируется осуществить мероприятия по сохранению действующих оросительных систем и их частичной реконструкции. Напомним (см. разд. 9.2.4), что в 2005 г. в России площадь орошаемых земель составляла 4,5 млн га, состояние которых не отвечало современным требованиям и подлежало реконструкции; достаточно отметить, что из этих площадей поливалось всего 2,76 млн га, или 61%, причем существенно меньшими поливными нормами, чем необходимо.

На втором этапе (до 2015 г.) планируется расширить площади орошаемых земель до 6–7 млн га, т. е. практически довести до максимального уровня, которое имело место в России в начале 1990-х гг. (см. рис. 9.7).

На третьем этапе (до 2020–2022 гг.) предлагается довести орошаемые площади в России до 10,2 млн га. Интересно отметить, что в Схеме перспективного развития мелиораций, разработанной в 1985 г. Минводхозом СССР, планировалось к 2000 г. довести орошаемые площади в России до 10,4 млн га, в том числе в Поволжье — 3,14 млн, на Северном Кавказе — 2,71 млн, в Западной Сибири — 0,90 млн, на Урале — 0,78 млн, в ЦЧО — 0,67 млн, в Восточной Сибири — 0,56 млн; планировалось развитие орошения и в других природно-экономических районах.

Что касается современного планируемого размещения орошаемых площадей по территории страны, то в Концепции эти сведения приводятся также в разрезе природно-экономических районов и только на уровень последнего, третьего этапа. Для анализа эти сведения в сравнении с фактическими данными за 2000 и 2005 гг. приведены в табл. 11.14. Следует отметить, что определение приведенных в таблице площадей по природно-экономическим районам на первом и втором этапах производилось приближенно, исходя из их фактического размещения за прошлые годы и на современный уровень, и намечаемого Концепцией распределения по территории страны в 2020 г.

Из данных, помещенных в указанной таблице, следует, что Концепцией в целом ряде природно-экономических районов не предусматривается не только расширение площадей орошаемых земель,

но даже их сохранение. По-видимому, это вполне обосновано, поскольку в последние годы в этих районах орошаемые площади практически не используются, возможно, ввиду нецелесообразности с экономической точки зрения.

На юге России (Северо-Кавказский район) дальнейшее увеличение орошаемых площадей практически не предполагается ввиду ограниченных водных ресурсов. Это означает, что в бассейнах рек Кубани, Терека и Сулака не следует ожидать значительного роста площадей орошаемых земель и, следовательно, изменение объемов водопотребления в этих бассейнах будет связано преимущественно с технологией использования и, в частности, с показателями фактически поливаемых земель.

Значительный прирост орошаемых площадей планируется в Поволжском районе. По-существу это касается в основном бассейна р. Волга, причем основной прирост орошаемых земель можно ожидать на территории Средней и Нижней Волги, а также в бассейне р. Кама.

В Центрально-Черноземном районе, относящемся к бассейну Дона, Концепцией намечается более чем двукратное увеличение площадей орошаемых земель. Оценка их значений в пределах

Таблица 11.15

Современное и перспективное размещение орошаемых земель по территории федеральных округов РФ, тыс. га

Федеральный округ	2000	2005		2010	2015	2020
	площади орошения	площади орошения	политые площади	площади орошения		
Северо-Западный	23,4	18,8	0,3	—	—	—
Центральный	510	503	161	510	560	600
Южный	2227	2236	1618	2240	2270	2300
Приволжский	900	931	482	1020	1850	3500
Уральский	154	155	10,1	180	470	800
Сибирский	540	531	302	600	850	3000
Дальневосточный	111	122	4,2	—	—	—
Итого по РФ	4466	4497	2578	4550	6000	10 200

этого водосбора осуществлялась с учетом изменений последних в Воронежской и Липецкой областях, полностью расположенных в бассейне Дона, а также в других областях (Белгородская, Курская, Тамбовская, Пензенская и Волгоградская), которые только частично относятся к бассейну. Площади орошаемых земель Ростовской области, входящей в Северо-Кавказский район, но расположенных в бассейне Дона, в перспективе не должны иметь значительных изменений.

Очень высоким планируется рост орошаемых земель в Уральском районе, в состав которого входят Башкирия, Курганская, Оренбургская, Свердловская, Челябинская области, Пермский край и Республика Удмуртия. Из них три субъекта Федерации почти полностью расположены в бассейне Средней Волги (Башкирия, Пермский край и Удмуртия), где, как указано выше, предусматривается особенно большой прирост площадей орошаемых земель. Возможно, в какой-то степени это и нашло свое отражение в величине перспективных площадей орошаемых земель данного района.

Наибольшее (в 9 раз) увеличение орошения в России в соответствии с Концепцией планируется в Западной Сибири; в основном это бассейн р. Обь, где в 2005 г. по оценкам ГГИ насчитывалось 321 тыс. га орошаемых земель.

В Восточной Сибири намечается в перспективе довести площадь орошаемых земель до 800 тыс. га или почти в 3 раза больше, чем в настоящее время. В современных условиях около 80% всех орошаемых земель этого природно-экономического района располагается в трех субъектах Федерации: Бурятия, Хакасия и Тыва. Непосредственно в бассейне главной реки района — Енисея — в 2005 г. насчитывалось около 131 тыс. га орошаемых площадей (45% площадей всего района).

Современное и перспективное (в соответствии с Концепцией) распределение орошаемых площадей по территории современного деления РФ — по федеральным округам, представлено в табл. 11.15.

На основании материалов по динамике орошаемых площадей и затрат воды на нужды орошения по субъектам РФ и основным речным бассейнам, приведенных выше, в разд. 9.2.4 и 10.4, и данных Концепции по перспективам развития орошения по природно-экономическим районам, приближенно была выполнена перспективная оценка динамики орошаемых площадей на уровни 2010, 2015 и 2020 гг. по субъектам РФ и по бассейнам крупных рек. При определении развития орошения послед-

них принимались во внимание доли площадей субъектов РФ, находящихся в пределах исследуемых водосборов. При этом, помимо земель с оросительной сетью, в ходе расчетов учитывались и величины фактически политых земель — один из важнейших показателей как за прошлый период, так и на перспективу; самые полные материалы за 2005 г. приняты непосредственно по данным сайта Минсельхоза РФ.

Рассчитанная в соответствии с Концепцией динамика перспективного развития орошения для основных речных бассейнов РФ представлена в табл. 11.16.

Таблица 11.16

Прогнозная оценка перспективного развития орошения в бассейнах рек России

Речные бассейны	2005		2010	2015	2020
	площади орошения, тыс. га	политые площади, тыс. га	площади орошения, тыс. га		
Волга	1350	650	1400	2170	3200
Дон	600	340	600	790	1170
Кубань	370	260	370	380	380
Терек и Сулак	680	570	680	690	700
Обь	320	120	350	660	2200

Как следует из таблицы, современные отношения фактически политых земель к орошаемым изменяются по бассейнам в очень больших пределах — от 37 до 84%. На перспективу эти соотношения определялись расчетным путем, исходя из опыта прошлых лет для различных районов России. Для бассейнов рек, расположенных на юге страны

(Кубань, Терек, Сулак), где и в настоящее время отмечаются достаточно высокие показатели использования орошаемых земель, предполагается, что политые земли к 2020 г. превысят 90% от наличия земель с оросительной сетью. По другим бассейнам эти величины должны быть не менее 80–85%, что фактически имело место в период максимального развития регулярного орошения в России (1985–1990 гг.).

Прогнозные оценки полного и безвозвратного водопотребления для различных регионов и речных бассейнов на перспективу до 2020 г. основывались на соответствующих данных за период до 2005 г., приведенных выше, в разд. 9.2.4, по каждому речному бассейну и субъекту Федерации и указанных в табл. 11.14–11.16 величин перспективного развития орошения. При этом методом экспертной оценки принимались во внимание некоторые возможные изменения характеристик водопотребления в перспективе за счет улучшения технологии водопользования, снижения объемов возвратных вод или изменения структуры посевов на орошаемой пашне. Так, например, в бассейне Кубани учтена возможность некоторого увеличения доли посевов риса, по сравнению с современным уровнем, в связи с почти полным прекращением рисосеяния в Приморском крае.

Анализ полученных таким образом результатов перспективной оценки полного и безвозвратного водопотребления при орошении на уровни 2010–2020 гг. для различных регионов и речных бассейнов приведен в следующем разделе.

11.6.2. Бассейны рек и регионы России

На основании исходных данных и методических подходов, которые изложены в разд. 11.6.1, в настоящем разделе представлены основные результаты выполненных приближенных прогнозных оценок на 2010, 2015 и 2020 гг. промышленно-коммунального и сельскохозяйственного (орошение и сельскохозяйственное водоснабжение) водопотребления (полного и безвозвратного) для всех субъектов РФ, основных речных бассейнов, гидроклиматических регионов, федеральных округов и России в целом. Как показано выше (см. разд. 10.5), гидроклиматические регионы объединяют в составе федеральных округов группы субъектов РФ, которые имеют сходные природно-экономические ус-

ловия и режим формирования водных ресурсов; список субъектов РФ, которые включены в состав каждого гидроклиматического региона, приведен в табл. 10.15.

Результаты прогнозной оценки динамики водопотребления на нужды сельского хозяйства для основных речных бассейнов РФ представлены в табл. 11.17. В основе этих оценок «Концепция развития комплексных мелиораций и повышения продуктивности мелиорированных земель» (на уровень до 2022 г.), разработанная Россельхозакадемией в 2004 г. В бассейнах указанных рек в 2005 г. располагалось 74% всех орошаемых земель страны. В соответствии с Концепцией, в перспективе также планируется разместить здесь большую часть орошаемых площадей (около 80%). Однако распределение их по речным бассейнам изменится кардинальным образом, поскольку основной прирост орошаемых площадей предполагается в бассейнах Оби, Волги и Дона, в то время как в бассейнах Кубани и Терека они останутся практически неизменными. Соответственно произойдут изменения и в объемах водопотребления. По нашим оценкам, суммарное водопотребление на нужды сельского хозяйства в бассейнах рассматриваемых рек возрастет к 2020 г. более чем в 2,5 раза, в то время как в бассейне Волги — в 4,7 раза, в бассейне Дона — в 3,5 раза, а в бассейне р. Обь, где оно в настоящее время крайне незначительно, более чем в 10 раз.

Суммарные величины водозабора в бассейнах указанных рек составляют более 90% от общего водопотребления на нужды сельского хозяйства по России в целом. Остальная их часть приходится на бассейны Енисея и Урала. Наибольший объем водопотребления ожидается в перспективе в бассейне р. Волга.

На рис. 9.38–9.42 (см. гл. 9) представлена динамика суммарного водопотребления на различные хозяйственные нужды в рассматриваемых речных

Таблица 11.17

Водозабор и безвозвратное водопотребление на нужды сельского хозяйства в речных бассейнах на перспективу до 2020 г., км³/год

Бассейн	2005	2010	2015	2020
Волга	2,0/1,70	2,82/2,62	5,00/4,00	8,07/6,70
Дон	1,2/1,0	1,9/1,66	2,76/2,21	4,19/3,48
Кубань	2,0/1,5	2,0/1,53	3,10/1,93	3,30/2,09
Терек + Сулак	3,1/2,8	4,12/3,21	4,21/3,37	4,27/3,54
Обь	0,21/0,16	0,35/0,27	0,75/0,60	2,76/2,29
Всего	8,5/7,2	11,2/8,9	15,9/12,1	22,6/18,1

бассейнах за период с 1960 до 2020 г., в том числе включая прогнозные оценки промышленно-коммунального водопотребления; для бассейна Волги, помимо суммарного водопотребления показана отдельно и динамика водопотребления на различные хозяйственные нужды. Для всех бассейнов на рисунках представлены величины ожидаемого снижения годового стока рек в замыкающих створах за счет всего комплекса антропогенных факторов, включая изменения на водосборах и дополнительные потери на испарение с водохранилищ, которые на переломную принимались на уровне 2005 г. (ввиду отсутствия сведений об их заметных изменениях в ближайшие 10–15 лет).

Как следует из представленных рисунков, в основном после 2010 г. на всех водосборах в разной степени, но ожидается увеличение суммарного водопотребления за счет развития орошаемого земледелия, которое к 2020 г. по отношению к уровню 2005 г. для Волги составит 17%, для Дона — 41%, для Оби — 23%, для Кубани — 7% и для Терека с Сулаком — 5%. Тем не менее для всех бассейнов (кроме Кубани) величины суммарного водопотребления на уровень 2020 г. будут значительно меньше водозаборов, которые имели место в 1970–1980-е гг. В значительной степени это обусловлено тем, что после 2005 г., в соответствии с прогнозными оценками, в большинстве субъектов РФ ожидается заметное снижение промышленно-коммунального водопотребления (см., напр., рис. 9.38 для бассейна Волги).

Аналогичная картина наблюдается в отношении ожидаемого в перспективе суммарного антропогенного снижения годового стока рек. На уровень 2020 г. для бассейна р. Волга оно составит по отно-

шению к норме за многолетний период примерно 6%, для р. Дон — 21%, р. Кубань — 40%, р. Терек с Сулаком — 27%, р. Обь — 0,6%; во всех водосборах примерно такие же величины или даже большие наблюдались в 1980–1990-е гг.

Данные по динамике суммарного водопотребления с 1995 по 2020 г. по гидроклиматическим регионам представлены в табл. 11.18 и на рис. 11.9 и 11.10. Они показывают принципиально различное изменение в перспективе величин суммарного водопотребления для хорошо увлажненных северных и восточных регионов, где объемы водопотребления в основном определяют затраты воды на промышленное производство и коммунальное водоснабжение, и для южных регионов, где планируется масштабное развитие орошаемого земледелия.

В регионах первой группы (см. рис. 11.9) предполагается тенденция некоторого сокращения водопотребления (в пределах до 20–25% к 2020 г.) в результате планируемого более широкого использования в промышленности технологии оборотного и последовательно-повторного водоснабжения, а также экономии воды при коммунальном водопотреблении. В регионах второй группы (см. рис. 11.10) указанные факторы тоже действуют, но они в полной мере перекрываются увеличением водопотребления на периоды развивающегося орошаемого земледелия, и в этих регионах намечается устойчивая тенденция увеличения суммарного водопотребления (до 20–60% к 2020 г.). При этом в еще большей степени, естественно, увеличатся объемы безвозвратного водопотребления.

Аналогичная тенденция в динамике перспективного водопотребления имеет место примени-

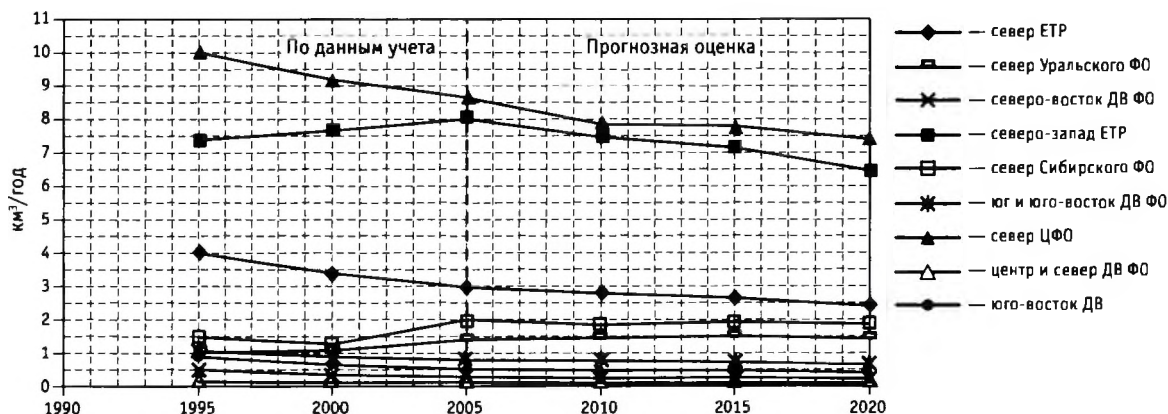


Рис. 11.9. Динамика суммарного водопотребления за период 1995–2020 гг. по гидроклиматическим регионам России, где не планируется масштабное развитие орошаемого земледелия

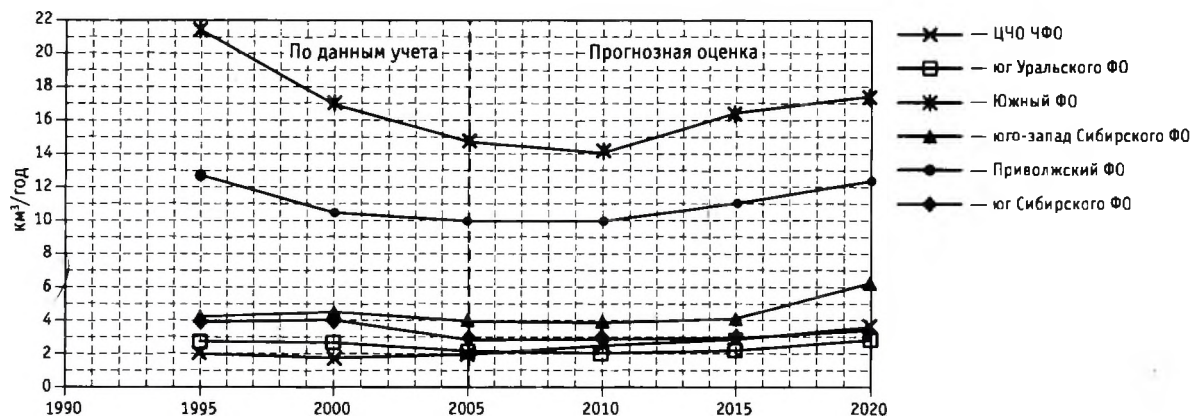


Рис. 11.10. Динамика суммарного водопотребления за период 1995–2020 гг. по гидроклиматическим регионам России, где планируется масштабное развитие орошаемого земледелия

тельно к федеральным округам (рис. 11.11). В Северо-Западном и Дальневосточном округах, где не планируется развитие орошения, следует ожидать тенденции снижения водозабора, в остальных округах водопотребление будет расти с интенсивностью, которая, главным образом, зависит от развития орошаемого земледелия.

Динамика водопотребления на различные хозяйственные нужды в целом по России за период с 1960 по 2020 г. представлена на рис. 9.1. За период с 2005 по 2020 г. предполагается рост суммарного водопотребления примерно на 9% при увеличении сельскохозяйственного водопотребления более чем в 1,5 раза. При этом планируется, что промышленное водопотребление свежей воды сократится примерно на 10%, а коммунальное — на 25% (см. также

рис. 9.2 и 9.3). Таким образом, предполагается, что суммарный объем водопотребления в стране на уровень 2020 г. будет примерно на 30% меньше, чем был в 1980-е гг.

На рис. 9.1 (см. гл. 9) показана и динамика суммарного уменьшения годового стока рек России за счет всего комплекса хозяйственной деятельности в их бассейнах; к 2020 г. по сравнению с 2005 г. уменьшение возрастет примерно на 12 км³ и составит 40 км³/год, что соответствует уровню 1980-х гг.; это всего примерно 0,9% от среднемноголетних поверхностных водных ресурсов, ежегодно формирующихся на территории нашей страны.

Приведенные показатели, относящиеся в среднем ко всей огромной территории России, достаточно обеспеченной водными ресурсами, ни в коей

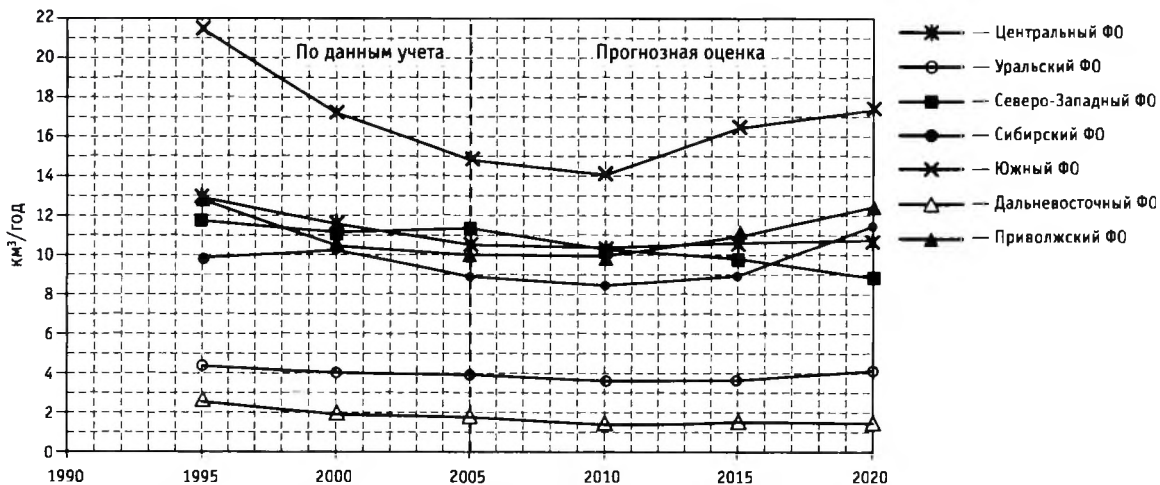


Рис. 11.11. Динамика и прогноз суммарного водопотребления по федеральным округам за период 1995–2020 гг.

Таблица 11.18

**Динамика водопотребления за период 1995–2020 г.
по гидроклиматическим регионам РФ, км³/год**

Гидроклиматические регионы	Водопотребление полное / безвозвратное					
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
№ 1 Север ЕТР	4,02 0,45	3,39 0,39	3,0 0,33	2,77 0,31	2,65 0,31	2,38 0,28
№ 2 Северо-запад ЕТР	7,40 0,84	7,73 0,88	8,09 0,90	7,50 0,86	7,19 0,83	6,47 0,78
№ 3 Север ЦФО	9,99 1,33	9,25 1,24	8,69 1,41	7,92 1,10	7,81 1,09	7,43 1,05
№ 4 ЦЧО ЦФО	2,11 0,63	1,77 0,53	2,04 0,61	2,47 1,03	2,89 1,40	3,50 1,97
№ 5 Южный ФО	21,5 10,5	17,1 8,6	14,8 7,22	14,2 7,88	16,5 9,84	17,4 11,0
№ 6 Приволжский ФО	12,8 2,1	10,5 1,9	10,0 1,94	10,0 2,11	11,1 2,95	12,4 4,43
№ 7 Юг Уральского ФО	2,63 0,34	2,61 0,37	2,10 0,39	2,04 0,46	2,22 0,58	2,82 1,20
№ 8 Север Уральского ФО	0,94 0,11	1,03 0,13	1,37 0,16	1,43 0,18	1,53 0,20	1,42 0,19
№ 9 Юго-запад Сибирского ФО	4,24 0,44	4,51 0,51	4,03 0,63	3,86 0,69	4,17 0,91	6,28 2,73
№ 10 Юг Сибирского ФО	3,94 0,42	4,10 0,44	2,73 0,54	2,76 0,61	2,97 0,75	3,38 1,16
№ 11 Север Сибирского ФО	1,50 0,17	1,29 0,16	1,95 0,21	1,86 0,21	1,91 0,21	1,89 0,21
№ 12 Центр и север ДВ ФО	0,16 0,02	0,12 0,02	0,12 0,02	0,13 0,02	0,14 0,02	0,13 0,02
№ 13 Северо-восток ДВ ФО	0,44 0,05	0,37 0,04	0,31 0,03	0,26 0,03	0,27 0,03	0,25 0,03
№ 14 Юг и юго-восток ДВ ФО	1,09 0,13	0,87 0,11	0,81 0,10	0,69 0,09	0,68 0,09	0,65 0,08
№ 15 Юго-восток ДВ ФО	0,84 0,09	0,63 0,07	0,50 0,06	0,43 0,06	0,43 0,05	0,42 0,05

мере не снимают остроты проблемы водообеспечения в целом ряде субъектов РФ, расположенных в южных районах нашей страны. Как показано в гл. 10, они уже в настоящее время имеют очень низкую водообеспеченность, особенно в маловодные годы, а планируемое в перспективе развитие орошения неизбежно приведет к обострению ситуации, и потребуются настоятельная необходимость регулирования водопотребления или привлечения дополнительных источников водоснабжения (см. разд. 11.7).

Приведенные выше перспективные оценки базируются на Концепции развития мелиорации в стране и на долгосрочных прогнозах роста промышленного производства, а также на широком использовании систем оборотного и повторно-последо-

вательного водоснабжения в промышленности и экономии воды в коммунальном хозяйстве. Поэтому естественно, что эти оценки могут быть сопоставимы с действительностью, если перспективные планы, на которых они базируются, будут реализованы.

В этой связи представляется целесообразным регулярно, в течение каждые 5–10 лет, выполнять анализ складывающейся ситуации с развитием орошения и промышленности, чтобы своевременно вносить соответствующие коррективы в прогнозные оценки, если в этом возникнет необходимость.

11.7. ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ И НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ НА 2015–2020 гг.

Представленные выше, в разд. 11.2, прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших речных бассейнов на основе климатических сценариев, свидетельствуют о том, что для большей части территории России в перспективе в условиях глобального потепления климата следует ожидать увеличения водных ресурсов. Такой единодушный вывод с использованием самых различных климатических сценариев и гидрологических моделей получен многими российскими и зарубежными исследователями, начиная с 1990-х гг. (Шикломанов, Георгиевский, 2003; 2004; Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003; Добровольский, 2007). При этом отмечалось, что исключение могут составлять регионы, расположенные в южной части ЕТР в лесостепной и степной зонах Северного Кавказа и бассейнах Дона и российских притоков Днепра, а также в верховьях р. Обь, где некоторые климатические сценарии предполагали в перспективе заметное уменьшение осадков, а, следовательно, и речного стока.

Самые последние оценки ГГИ, полученные с использованием современных модельных сценариев, рекомендуемых IV оценочным докладом МГЭИК (2007) и приведенные выше, в разд. 11.2, в общем подтверждают ранее полученные выводы, как применительно к крупным речным бассейнам (см. табл. 11.9), так и к упомянутым выше южным регионам на ЕТР, что очевидно из анализа прогно-

зируемых по различным МОЦАО изменений осадков, которые представлены на цв. вкл., рис. 35–40. Отметим при этом, что приведенные в табл. 11.9 изменения речного стока на 2011–2030 гг. существенно (примерно в 1,5–2 раза) меньше, чем давались ранее с использованием МОЦАО, которые были рекомендованы III оценочным докладом МГЭИК в 2001 г.

На наш взгляд, в значительной степени это объясняется тем, что в табл. 11.9 оценки даны по сравнению с периодом 1981–2000 гг., который практически для всех рассматриваемых рек был многоводным, в то время как в более ранних оценках ГГИ изменения давались по отношению к периоду условно стационарного климата, т. е. до 1980 гг. (Шикломанов и др., 2007).

Данные об ожидаемых в перспективе изменениях речного стока крупнейших речных бассейнов на основе сценариев МОЦАО имеют несомненный научный интерес, однако малоприспособлены для принятия конкретных практических решений и мероприятий по адаптации и снижению возможных негативных последствий. Это обусловлено, помимо большой неопределенности прогнозирования осадков по различным МОЦАО, еще и тем, что климатические сценарии даются для обширных территорий и на весьма отдаленную перспективу, по крайней мере на 30–50 лет, и, кроме того, все характеристики климата в сценариях осредняются за периоды продолжительностью не менее 20–30 лет.

Таким образом, практически невозможно с использованием напрямую климатических сценариев выполнить прогнозную оценку изменений водных ресурсов на ближайшую перспективу 10–15 лет, тем более, если такие оценки необходимы не столько для крупнейших речных бассейнов, сколько для ограниченных по размерам административных регионов.

Применительно к территории России такие оценки были выполнены в ГГИ в 2005–2006 гг. для так называемых гидроклиматических регионов (см. разд. 10.5.3) с использованием климатических сценариев, рекомендованных III оценочным докладом МГЭИК (IPCC, 2001). Полученные результаты для оценки изменений характеристик стока, нагрузки на водные ресурсы и водообеспеченности на уровень 2010–2015 гг. опубликованы в работе (Шикломанов и др., 2007). В этих исследованиях перспективные оценки ожидаемых изменений водных ресурсов для каждого региона по сравнению с данными за период стационарного климата (до начала

1980-х гг.) получены на основе обобщения результатов расчетов по упомянутым выше сценариям на 2010–2039 гг. для крупных речных бассейнов совместно с анализом тенденций и трендов в изменениях гидрологических и водохозяйственных характеристик за многолетний период, особенно за последние 20–25 лет. При этом перспективные оценки водопотребления были приняты приближенно методом экспертных оценок, ориентируясь на международный опыт анализа и прогноза водопотребления в различных природно-экономических регионах и странах мира (Shiklomanov, 2004).

Основные результаты аналогичных прогнозных оценок изменений водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы выполненных в самое последнее время для всех гидроклиматических регионов на перспективу 2015–2020 гг. (по отношению к периоду 1981–2000 гг.), представлены на карте-схеме (см. цв. вкл., рис. 47).

В основе этих оценок данные изменений водных ресурсов, полученные по комплексу моделей, рекомендованных IV докладом МГЭИК и представленных в разд. 11.2, результаты прогнозных оценок водопотребления на уровень 2020 г., приведенных в табл. 11 (разд. 11.6), и имеющиеся долгосрочные прогнозы численности населения по всем субъектам РФ, предполагающие, в частности, что суммарная численность населения в стране на уровень 2020 г. составит 136 млн, т. е. сократится по сравнению с современным периодом примерно на 5%.

В соответствии с оценками по сценариям МОЦАО (IPCC, 2007), представленными в разд. 11.2, принято следующее изменение среднегодового стока рек на уровень 2020 г.: регион I — увеличение на 5–10%; регионы II и III — на +0–5%; регионы IV и V — уменьшение на –0–5%; регион VI — увеличение на 0–5%; регион VII — увеличение на 10–15%; увеличение в регионах VIII–X на 5–10%, в регионах XI и XV — на 0–5%, в регионах XII–XIV — на 5–10%. Напомним, что все эти оценки сделаны по отношению к периоду 1981–2000 гг., который для большинства регионов является многоводным; по данным, приведенным в разд. 10.3, в этот же период суммарные водные ресурсы в стране были примерно на 5% выше, чем за предшествующий многолетний период наблюдений.

В соответствии с выполненными прогнозными оценками, представленными на карте-схеме (см. цв. вкл., рис. 47), следует ожидать заметного увеличения нагрузки на водные ресурсы (коэффициенты использования водных ресурсов) (на 7–8%) для двух

регионов (IV и V) — черноземные области ЦФО и Южный федеральный округ, где существенно возрастет водопотребление на орошение и незначительно уменьшатся водные ресурсы; в трех других регионах (VI, VII и IX) нагрузка увеличится очень незначительно (примерно на 1%) в результате увеличения водопотребления на орошение, которое практически полностью компенсируется увеличением речного стока. Во всех остальных регионах, где нагрузка на водные ресурсы очень незначительна и в современных условиях, она немного уменьшится за счет ожидаемого уменьшения промышленно-коммунального водопотребления.

Что касается удельной водообеспеченности на уровень 2015–2020 гг., то следует ожидать ее уменьшения, примерно на 10–11%, только для двух регионов (IV и V); во всех остальных регионах произойдет весьма значительное (в пределах от 5 до 20–30%) увеличение водообеспеченности в результате увеличения водных ресурсов и сокращения численности населения при незначительном изменении объемов водопотребления.

Таким образом, в условиях некоторого увеличения водных ресурсов при глобальном потеплении климата, прогнозируемого изменения водопотребления и сокращения численности населения, на уровень 2020 г. не следует ожидать сколько-нибудь существенного ухудшения проблем водообеспечения применительно к крупным гидроклиматическим регионам на территории России. В то же время для многих субъектов РФ, расположенных в южных регионах страны и имеющих и в современных условиях высокую нагрузку на водные ресурсы и низкую удельную водообеспеченность, как показано в разд. 10.5, вряд ли можно ожидать какого-то улучшения ситуации с водообеспечением при антропогенных изменениях климата. Более детально эти проблемы могут быть исследованы при наличии долгосрочных перспективных планов социально-экономического развития в каждом субъекте РФ и надежных климатических моделей с высоким пространственным разрешением.

Литература

Абузяров З. К. Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. — СПб.: Гидрометеоздат, 2003. — С. 351–363.

- Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1963. — 82 с.
- Андреев В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. — Л.: Гидрометеоздат, 1957. — 524 с.
- Анисимов О. А. Последствия изменений климата в регионах северного полушария // Изменения климата и их последствия. — СПб.: Наука, 2002. — С. 239–250.
- Антонов В. С. Проблема уровня Каспийского моря и сток северных рек // Труды ААНИИ. — 1999. — Т. 441. — С. 181–195.
- Аполлов Б. А., Алексеева К. И. Прогноз уровня Каспийского моря // Труды океанографической комиссии АН СССР. Проблемы Каспийского моря. — 1959. — Т. 5. — 61 с.
- Арпе К., Спорышев П. В., Семенов В. А. и др. Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы // Изменения климата и их последствия. — СПб.: Наука, 2002. — С. 165–179.
- Афанасьев А. Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. — М.: Наука, 1967. — 230 с.
- Бабкин А. В. Влияние колебаний притока вод на уровень и элементы водного баланса Ладожского и Онежского озер // Региональная экология. — 2004. — № 1–2 (22). — С. 135–142.
- Бабкин А. В. Увлажнение областей внутреннего стока Евразии (на примере бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш). — Дис. ... д-ра геогр. наук. — СПб.: Изд-во Лемма, 2005. — 41 с.
- Бабкин А. В. Методика прогноза уровня воды Ладожского озера с большой заблаговременностью // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 6. — С. 73–83.
- Бабкин В. И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической активности // Метеорология и гидрология. — 1995. — № 1. — С. 94–98.
- Бабкин В. И., Клиге Р. К., Постников А. Н. Генезис и состав вод крупнейших рек Русской равнины, Западной и Восточной Сибири в последние десятилетия XX века // Тезисы докл. Всемирной конференции по изменению климата. — М.: Изд-во ИГКЭ, 2003. — 582 с.
- Балек К. Применение стохастической теории для долгосрочного прогнозирования среднегодового стока // Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — С. 241–244.
- Белинский Н. А., Калинин Г. П. О прогнозах колебания уровня Каспийского моря // Труды НИУ ГУГМС. — 1946. — Сер. IV. — Вып. 37. — 36 с.
- Белоусов А. Р. Сценарии экономического развития России на пятнадцатилетнюю перспективу / А. Р. Белоусов // Проблемы прогнозирования. — 2006. — № 1. — С. 3–52

- Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике. — М.: Наука, 1967. — 608 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 301 с.
- Воскресенский К. П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л.: Гидрометеоздат, 1962. — 546 с.
- Георгиевский В. Ю.* Изменение стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления. — Дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2005. — 39 с.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л.* Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата // Докл. международного симпозиума «Расчеты речного стока». — ЮНЕСКО. 1997. — С. 75–81.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И.* 1996а. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. — 1996а. — № 11. — С. 89–99.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шикломанов И. А., Шерешевский А. И.* Возможные изменения ресурсов и водного режим в бассейне Днепра при различных сценариях потепления климата // Материалы научно-технической конференции «Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси». — Минск, 1996б. — Т. 1. — С. 21–23.
- Гетман И. Ф., Пичугин Ю. А.* Анализ сингулярного спектра уровня и составляющих водного баланса Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. — СПб.: Гидрометеоздат, 2003. — С. 295–309.
- Голяндина Н. С.* Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 2004. — 50 с.
- Данилов Д. Л.* Метод «Гусеница» для прогнозирования временных рядов. — СПб.: Пресском, 1997. — С. 73–104.
- Демин А. П.* Тенденция использования и охраны водных ресурсов в России // Водные ресурсы. — 2000. — № 6. — С. 735–754.
- Демин А. П.* Эффективность использования водных ресурсов в бассейне Волги // Водные ресурсы. — 2005. — Т. 32. — № 6. — С. 653–663.
- Добровольский С. Г.* Проблема глобального потепления и изменений стока российских рек // Водные ресурсы. — 2007. — Т. 34. — № 6. — С. 643–655.
- Дроздов О. А., Васильев В. А. и др.* Климатология. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 568 с.
- Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н.* Космос-Земля. Прогнозы. — М.: Мысль, 1974. — 288 с.
- Зайков Б. Д.* Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Труды ГУГМС. — 1946. — Сер. IV. — Вып. 38. — С. 5–50.
- Калинин Г. П.* Проблемы гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 377 с.
- Ковалевский В. С.* Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. — М.: Научный мир, 2001. — 332 с.
- Кузин П. С.* Циклические колебания стока рек Северного полушария. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 178 с.
- Лемешко Н. А., Борзенкова И. И.* Изменение стока р. Волги при различных уровнях глобального потепления (на основе палеоклиматических сценариев) // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологич. съезда, С.-Петербург, 28 сент. — 1 окт. 2004 г. — СПб.: Гидрометеоздат, 2004. — Секция 3. — С. 216–218.
- Малевский-Малевич С. П., Надёжина Е. Д.* Оценки влияния изменений климата на вечную мерзлоту в России, основанные на модельных сценариях изменений климата // Изменения климата и их последствия. — СПб.: Наука, 2002. — С. 231–238.
- Малинин В. Н.* Проблемы прогноза уровня Каспийского моря. — СПб.: Гидрометеоздат, 1994. — 158 с.
- Манabe С., Везеролд Р.* Изменения водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления // Всемирная конференция по изменению климата: Тезисы докл. — М., 2003. — С. 14–15.
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А. и др.* Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С. 38–49.
- Мелешко В. П., Катцов В. М., Говоркова В. А. и др.* Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии // Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии. — СПб.: Наука, 2005. — С. 25–54.
- Менжулин Г. В., Шамигулин В. И., Савватеев С. П.* К оценке точности модельных сценариев изменений климата, рекомендованных комиссией IPCC для расчетов последствий глобального потепления // Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии. — СПб.: Наука, 2005. — С. 55–85.
- Мещерская А. В., Белянкина И. Г. и др.* Усовершенствованный метод долгосрочного прогноза уровня Каспийского моря по метеорологическим данным // Труды ГГО. 1999. — Вып. 547. — С. 66–78.
- Некруткин В. В.* Аппроксимирующие пространства и продолжения временных рядов. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. — С. 3–32.
- Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 г. — М.: Росгидромет, 2007. — 164 с.
- Очерки по истории гидрометеорологической службы России. — Л.: Гидрометеоздат, 1999. — Т. 2. — 263 с.

- Раткович Д. Я.* Многолетние колебания речного стока. Закономерности и регулирование. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 256 с.
- Раткович Д. Я.* Гидрологические основы водообеспечения. — М.: Изд-во ИВП РАН, 1993. — 430 с.
- Ремизова С. С., Мягков М. С.* О проблеме долгосрочного прогнозирования уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. — 1995. — Т. 22. — № 3. — С. 336–342.
- Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (1982–2002). — Л.; СПб.: Гидрометеиздат.
- Российский статистический ежегодник 2005. — М.: Росстат, 2006 — 819 с.
- Рождественский А. В.* Пространственно-временные колебания стока рек СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 360 с.
- Саруханян Э. И., Смирнов Н. П.* Многолетние колебания стока Волги. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 166 с.
- Сытинский А. Д., Постников А. Н.* О зависимости стока Волги от солнечной активности: Сб. работ по проекту РФФИ (93–05–9411). — СПб.: Гидрометеиздат. — 410 с.
- Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата. — М.: Изд-во ИГКЭ, 2003. — 700 с.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Современные и ожидаемые изменения стока рек СССР и их учет при планировании крупномасштабных водохозяйственных мероприятий // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. — Т. 4. Гидрологическое обоснование водохозяйственных мероприятий — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — С. 243–248.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствия. — СПб.: Наука, 2002. — С. 152–164.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России // Тезисы докл. Всемирной конференции по изменению климата. Москва, 29 сент. — 3 окт. — СПб., 2003. — С. 250.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологич. съезда, Санкт-Петербург, 28 сентября — 1 окт. 2004 г. . — Секция 3. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — С. 200–201.
- Шикломанов И. А., Шикломанов А. И.* Изменение климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. — 2003. — Т. 30. — № 6. — Ноябрь — декабрь. — С. 645–654.
- Шикломанов И. А., Балонишников Ж. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы и социально-экономические последствия, проблемы адаптации и снижения негативных последствий // Метеоспектр. Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения. — 2007. — № 2. — С. 46–69.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Ежов А. В.* Вероятностный прогноз уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. — СПб.: Гидрометеиздат, 2003. — С. 323–340.
- Шлямин Б. А.* Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Изв. ВГО. 1962. — Т. 94. — Вып. 1. — С. 26–33.
- Эйгенсон М. С.* Солнце, погода, климат. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — 274 с.
- Arnell N. W.* Climate change and global water resources. — Global Environmental Change, 1999. N 9. — P. 31–49.
- Arnell N. W.* Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective // Hydrology and Earth System Sciences. — N 7. — 2003. — P. 619–641.
- Arnell N. W.* Climate change and global water resources: SRES scenarios and socio-economic scenarios // Global Environmental Change. — 2004. — Vol. 14. — P. 31–52.
- Boykoff M. T., Boykoff J. M.* Global Environ. change. — Nature. — 431. — 2004. — N 14. — P. 125–136.
- Buchstaber V. M.* Time series analysis and grassmanians. — Applied Problems of Radon Transform. AMS. — 1994. — P. 1–17.
- Chiew F. H. S., McMahon T. A.* Trends and changes in historical annual streamflow volumes and peak discharge of rivers in the world. Proc. Int. Congress on Modelling and Simulation, November 1995 // Newcastle. — Australia, 1995. — P. 140–15.
- David E. L.* Manufacturing and Mining Water Use in the United States, 1954–1983: National Water Summary 1987. US Geological Survey Water Supply Paper 2350. — Washington: DC, US Government Printing Office, 1990.
- Fekete B. M., Vörösmarty C. J.* Issues in the establishment of a global hydrological network for climate // J. Cihlar, W. Grabs, J. Landwehr (eds.). Establishment of a Global Hydrological Observation Network for Climate, Report of the GCOS/GTOS/HWRP Expert Meeting, Report GCOS 63, Report GTOS 26, WMO/TD. — N 1047. — P. 66–70. World Meteorological Organization. — Geneva, 2000.
- Georgievsky V. Yu.* On global climate warming effects on water resources // Water: a Looming Crisis? Proc. of the International Conference on World Water Resources at the Beginning of the 21st Century UNESCO. — Paris, 1998. — P. 37–46.
- Georgievsky V. Yu., Ezhov A. V., Ignashin A. V., Shalygin A. L.* The Management of Water Resources System Under Climate Change. — Proc. of the Second International Conference on Climate and Water. — Espoo, Finland, 17–20 August. — 1998. — Vol. 3.

- Georgiyevsky V. Yu., Shiklomanov I. A.* Climate change and water resources // *World Water Resources at the Beginning of the 21 st Century*. — Cambridge Univ. Press, 2003. — P. 390–413.
- Gleick P. H.* *The World's Water 1998–1999: The Biannual Report on Fresh Water Resources*. — Washington: DC, Island Press, 1998.
- IPCC. *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* // Eds. J. T. Houghton et al. — Cambridge Univ. Press, 2001. — 881 p.
- IPCC. *Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.). — Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. — 996 p.
- IPCCD DC 2007. GCM Experiment Data Archive, http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/ddc_gcndata.html
- Miller J. R., Russell G. L.* The impact of global warming on river runoff // *Journal of Geophysical Research*. — 1992. — Vol. 97. — N D3. — P. 2757–2765.
- Nohara D., A. Kitoh, M. Hosaka, Oki T.* Impact of Climate Change on River Runoff using Multi-model Ensemble, *J. Hydrometeor.*, submitted. — [Globe], 2005.
- Postel S.* *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. — New York: W.Norton & Co, 1992.
- Shen Y., Oki T., Kanae S.* Future change of world water resources under SRES climate warming scenarios: A multi-model analysis // *Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management* // Ed. by N. Giesen, X. Jun, D. Rosbjerg, Y. Fukushima // *Proceedings of Symposium HS3006 at IUGG2007, Perugia, July 2007*), IAHS Publ. 315. — P. 62–70, IAHS Press, Wallingford, UK, 2007.
- Shiklomanov I. A., Georgiyevsky V. Yu.* Problems of the effect of anthropogenic climate changes on hydrological parameters and water management // *Proc. of the XVI Conference of Danube Countries*. — Kellheim, Germany, 1992. — P. 471–477.
- Shiklomanov I. A., John C. Rodda* (eds.). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. — Cambridge Univ. Press, 2003. — 435 p.
- Vörösmarty C. J., C. A. Federer, Schloss A.* Potential evaporation functions compared on U. S. watersheds: Implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling // *Journal of Hydrology* 207. — 1998. — P. 147–69.
- Yevjevitch V.* *Fluctuations of Wet and Dry Years: An Analysis of Variance Spectrum*. — Denver, CO: Colorado State University, 1977. — 94 p.

Глава 12

МИРОВЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

12.1. ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В начале XXI в. проблема водных ресурсов стала одной из самых важных и сложных научно-технических проблем, решение которой требует все больших усилий и средств. Проблема эта уже давно не является проблемой того или иного государства, а приобрела глобальный характер, она непосредственно касается миллиардов людей, проживающих на нашей планете.

Замечательные свойства природных вод — их возобновление в процессе круговорота и способность к самоочищению, позволяли в течение долгого времени сохранять относительную чистоту, количество и качество пресных вод.

Положение коренным образом изменилось в последние десятилетия; во многих районах и странах мира стали все яснее обнаруживаться плоды многолетней, порой неразумной деятельности человека как в отношении непосредственного использования, так и преобразования поверхности речных водосборов. В значительной мере этому способствовал резкий скачок водопотребления в мире, начавшийся в 1950-х гг. в связи с интенсивным развитием производительных сил во многих сферах мировой экономики в ходе научно-технической революции. Приrost мирового годового водопотребления с 1951 по 1960 г. увеличился по сравнению с предшествующими десятилетиями более чем в четыре раза (Калинина, Шикломанов, 1974; Шикломанов, Маркова, 1987), что объясняется резким увеличением площадей орошаемых земель, ростом водоемкости промышленного производства и теплоэнергетики, интен-

сивным сооружением водохранилищ на всех континентах.

В последние 25–30 лет во всем мире наблюдается особенно интенсивное антропогенное изменение гидрологического режима рек и озер, качества их вод, водных ресурсов и водного баланса. Величина водных ресурсов, их динамика во времени и распределение по территории стали определяться не только естественными колебаниями климата, как это было раньше, но и хозяйственной деятельностью человека. Во многих районах и странах мира водные ресурсы из-за их количественного истощения и загрязнения уже не могут удовлетворять все возрастающие потребности в них и становятся фактором, сдерживающим дальнейшее развитие экономики и рост благосостояния населения.

Особенно острые проблемы с водой возникают в засушливых регионах, которые характеризуются весьма ограниченными естественными водными ресурсами, высокой степенью их использования и очень быстрыми темпами роста населения. Проведенная ООН в 1977 г. в Аргентине Первая Всемирная Конференция по водным ресурсам, уже в то время отметила неблагоприятную ситуацию с пресной водой в трети стран мира, прежде всего расположенных в зонах недостаточного увлажнения, и весьма возможное приближение таких же трудностей к концу XX в. в большинстве стран мира.

В последние годы внимание и интерес к надежной оценке и прогнозу количественных изменений водных ресурсов еще более возрос в связи с реально возникшей перед человеком проблемой возможных в не столь отдаленной перспективе весьма значительных антропогенных изменений глобальных климатических характеристик, обусловленных

ростом концентрации в атмосфере углекислого и других парниковых газов. Прогнозируемые климатологами к середине текущего столетия антропогенные изменения климатических характеристик могут быть столь значительными (IPCC, 1995; 2001; 2007), что приведут к существенным преобразованиям гидрологического цикла, изменениям количества водных ресурсов, их использования, распределения во времени и по территории, экстремальных характеристик речного стока и их изменчивости.

Проблемы надежной оценки водных ресурсов, водопотребления и водообеспеченности в речных бассейнах на национальном уровне, в региональном и глобальном масштабах и для отдельных видов хозяйственной деятельности получают все возрастающее внимание на международном уровне. Такие крупные международные мероприятия, как Конференция по воде и окружающей среде (Дублин, Ирландия, 1992), Конференция по питьевой воде и санитарии (Норвик, Нидерланды, 1994), Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, Бразилия, 1992), одобрявшие известную резолюцию «Повестка 21», способствовали привлечению всеобщего внимания к надвигающемуся водному кризису и необходимости принятия неотложных глобальных действий для решения водных проблем.

Проблемы водных ресурсов в региональном и глобальном масштабах в настоящее время находятся в сфере деятельности многих правительственных и неправительственных международных организаций, прежде всего ЮНЕСКО, ВМО, ЮНЕП, ФАО, МАГН, МАВР, под эгидой которых проведено множество научных симпозиумов и опубликовано огромное количество работ в различных странах мира.

На основе тесного международного сотрудничества наиболее детальные и полные оценки водного баланса и водных ресурсов применительно ко всем континентам и природным зонам Земли, были опубликованы в 1974 г. российскими учеными под руководством ГГИ в капитальной монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (Корзун ред., 1974) и в Германии (Baumgartner, Reichel, 1975). До настоящего времени данные этих монографий широко используются специалистами как наиболее полные и надежные. Более поздние публикации 1980–1990-х гг., в которых также приводятся сведения по водным ресурсам в глобальном масштабе, не содержат какой-либо новой инфор-

мации по сравнению с указанными выше работами, поскольку основываются на выводах этих же работ или используют более ранние, устаревшие результаты оценок, не согласующиеся с данными наблюдений.

В ряде публикаций, (см., напр.: Sustaining Water... 1993) или периодических оценках Института мировых ресурсов (WRI, 1992; 1996; 2000) иногда приводятся полные данные по водным ресурсам и водопотреблению не только по континентам, но и по всем странам мира. Однако их использование для различного рода обобщений не представляется возможным из-за их большой неоднородности и малой достоверности. Это обусловлено тем, что они определены по разным методам и исходным данным, заимствованным из различных источников за разные годы и многолетние периоды без должного критического анализа и сопоставления с материалами наблюдений на гидрологической сети.

До настоящего времени для многих стран мира (не только развивающихся, но и развитых) можно встретить в публикациях весьма различные оценки водных ресурсов. Например, согласно данным, представленным в докладе Европейского агентства по окружающей среде (ЕЕА, 1999), даже для некоторых высокоразвитых стран Европы (Бельгия, Великобритания, Германия, Дания) величины суммарных возобновляющихся водных ресурсов по разным источникам могут различаться от 20% до 100% и более. Еще большие различия имеют место в оценке величин потребления пресных вод по странам и регионам мира.

Достаточно надежные оценки динамики водопотребления по всем континентам в течение XX столетия с приближенной оценкой на перспективу до 2000 г. были впервые выполнены в ГГИ и опубликованы в 1974 г. (Калинин, Шикломанов, 1974). Более детальные данные по континентам и всем природно-экономическим регионам мира были представлены в монографии (Шикломанов, Маркова, 1987).

Позднее, ввиду сложившейся ситуации с оценкой мировых водных ресурсов, в рамках Международной гидрологической программы (МГП) ЮНЕСКО был учрежден проект, предполагающий новое обобщение мировых данных по водным ресурсам и их использованию и подготовку монографии «Мировые водные ресурсы на рубеже XXI века». Разработка проекта в течение 1991–1997 гг. была поручена ГГИ и была опубликована (Shiklomanov, Rodda (ed.), 2003).

В обобщенном виде основные выводы этой монографии были опубликованы ВМО и другими международными организациями в виде научно-технического отчета (Shiklomanov (ed.), 1997) и использованы при подготовке доклада для Комиссии по устойчивому развитию ООН (CSD UN) по комплексной оценке ресурсов пресных вод в мире. В 1998 г. главные методические подходы и научные результаты, полученные в монографии, были представлены в докладах российских ученых — основных авторов монографии, на Международном Симпозиуме по Мировым Водным Ресурсам («Вода: Надвигающийся кризис?»), который состоялся в Париже 3–6 июня 1998 г. (UNESCO, 1998).

Дальнейшим этапом в оценках водных ресурсов, выполняемых ГГИ, явилась подготовка данных и разработка сценариев будущего мировых водных ресурсов в рамках долгосрочного проекта по прогнозированию мировых пресных вод (World Water Vision), учрежденного Мировым Советом по Воды (World Water Council) по решению I Мирового водного форума (Маракеш, Марокко, 1997). В связи с этим в ГГИ была выполнена очень большая работа по анализу и уточнению данных по водным ресурсам и их использованию в различных бассейнах, странах и регионах мира, а также по обоснованию и детализации прогноза водопотребления и водообеспеченности в мире на период до 2010–2025 гг. На основании представленных ГГИ исходных данных, экспертами Международной группы по разработке сценариев (Scenario Development Panel) было разработано три сценария использования пресных вод в мире до 2025 г. Анализ ситуации с пресными водами в мире по этим трем сценариям, а также по сценарию ГГИ были представлены на II Мировом водном форуме в марте 2000 г. в Гааге (Нидерланды) и опубликованы в монографии (Rijsherman (ed.), 2000). Позднее более полные результаты исследований ГГИ по проблеме мировых водных ресурсов опубликованы ВМО на английском языке в обобщающей монографии «Водные ресурсы — проблема XXI века» (Shiklomanov, 2004), которая была подготовлена на основе лекции, представленной проф. И. А. Шикломановым на XIV Всемирном метеорологическом конгрессе в 2003 г.

В настоящем разделе, посвященном оценке мировых водных ресурсов и их использованию, широко используются результаты исследований ГГИ, приведенные в указанных выше работах, которые в сокращенном виде впервые публикуются на русском языке.

12.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Количественные характеристики возобновляемых водных ресурсов того или иного региона или бассейна могут определяться на основе двух принципиально различных методических подходов: по метеорологическим данным или по материалам непосредственных наблюдений за стоком рек.

Первый методический подход широко используется в случае недостаточности гидрологических наблюдений и при наличии значительно более полных и детальных метеорологических данных. На практике он обычно реализуется на основе уравнения среднегодового водного баланса речного водосбора за многолетний период.

В соответствии с этим уравнением величина возобновляемых водных ресурсов, осредненных за многолетний период, определяется разностью между осадками и испарением с суши (Шикломанов, 1988). При этом осадки рассчитываются по данным наблюдений, а испарение — по различным расчетным формулам. Эта методика достаточно проста и в течение длительного времени широко использовалась во многих странах мира, особенно в тех, где гидрологическая сеть была недостаточно развита, а имелись в большом количестве метеорологические данные наблюдений. В настоящее время эта методика также применяется достаточно часто для регионов с редкой гидрологической сетью или при ее отсутствии.

Этот метод был успешно использован в России (Львович, 1974) и в Германии (Baumgartner, Reichel, 1975) при глобальных оценках водных ресурсов континентов Земли. Преимуществом этого метода является простота и возможность применения для изучения соотношений между осредненными за многолетний период элементами водного баланса крупных территорий. Однако при использовании этого метода такой важнейший компонент баланса, как речной сток, определяющий возобновляемые водные ресурсы суши, оценивается довольно грубо. Поэтому применение воднобалансового метода для засушливых территорий с ограниченными водными ресурсами недопустимо, поскольку точность оценки стока может быть соизмерена с ошибкой в определении испарения и осадков.

Другим серьезным недостатком воднобалансового метода является невозможность оценить водные ресурсы за каждый конкретный год, а тем более за сезон и месяц.

Кроме того, указанный метод неприменим для оценки водных ресурсов стран и регионов, расположенных в бассейнах трансграничных рек, когда значительный объем речного стока формируется за пределами рассматриваемой территории.

Таким образом, методический подход, основанный на использовании метеорологической информации для оценки возобновляемых водных ресурсов и их динамики в глобальном масштабе (для всех регионов, стран, континентов) не может дать надежных результатов.

В связи с этим чаще используется второй методический подход, основанный на использовании данных прямых наблюдений за стоком рек на мировой гидрологической сети. При этом метеорологические данные, в виде воднобалансовых расчетов, различного рода регрессионных зависимостей, моделей формирования стока, обычно используются как вспомогательные в случае отсутствия гидрологических данных наблюдений, их недостаточности или малой надежности. Такой подход был успешно применен российскими учеными еще в 1970-е гг. для подготовки уже упоминавшейся выше монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (Корзун (ред.), 1974). В настоящее время этот подход имеет существенно большие основания для использования, поскольку накоплены более длительные ряды гидрологических наблюдений и появилась потенциальная возможность получить ранее недоступные данные по многим слабоизученным в гидрологическом отношении регионам Африки, Азии и Латинской Америки.

Данные наблюдений за стоком рек являются основной интегральной характеристикой климатических условий и физико-географических особенностей любого водосбора, и обобщение этих данных позволяет наиболее надежно оценить самые различные характеристики водных ресурсов за отдельные месяцы, сезоны, годы в среднем за многолетний период, рассчитать их изменчивость во времени и по территории.

Данными наблюдений на гидрологической сети обладает в том или ином объеме большинство стран мира. По данным (Rodda, 1995) регулярная гидрологическая сеть по измерению расходов воды на реках насчитывает около 64 тыс. пунктов наблюде-

ний, расположенных по территории крайне неравномерно; 52% станций находится в Европе и Северной Америке. Густота гидрологической сети по странам мира колеблется в очень больших пределах: от 150–500 км² на 1 станцию в развитых странах Европы до 5000–10 000 км² и больше в странах Азии, Африки и Южной Америки. При этом продолжительность наблюдений также варьирует от нескольких до 180 и более лет, при наличии существенных пропусков в наблюдениях.

Таким образом, несмотря на явные преимущества этого метода, при использовании данных наблюдений мировой гидрологической сети для оценки водных ресурсов в глобальном масштабе возникает немного трудностей.

Среди недостатков метода основными являются следующие:

- очень большая неравномерность в размещении гидрологических станций по территории; 100–300 км² до 20 000–50 000 км² на одну;

- разные по длительности периоды наблюдений;

- наличие длительных пропусков в наблюдениях;

- наличие довольно обширных территорий, где гидрологическая сеть полностью отсутствует (примерно 15–20% территории суши, исключая Антарктиду);

- очень большие трудности в оперативном получении необходимых гидрологических данных из многих стран и регионов.

Перечисленные недостатки и трудности обусловлены современным состоянием мировой гидрологической сети, которое определяется, во-первых, объективными тенденциями ее развития, тесно связанными с общим научно-техническим прогрессом в мире, и, во-вторых, современными требованиями научного сообщества, экономики и населения, которые предъявляются к необходимости гидрологической информации для обеспечения научным сообществом, экономикой и населением.

От состояния мировой гидрологической сети непосредственно зависят важнейшие вопросы надежности оценки водных ресурсов и их использования в отдельных регионах и в глобальном масштабе, а также тенденций их современных изменений и прогнозов на будущее.

12.3. МИРОВАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Гидрологическая сеть создавалась главным образом не для научных целей, а для обеспечения экономического развития стран и регионов, для удовлетворения потребностей коммунального хозяйства, орошения, промышленности; для получения информации, необходимой для водного транспорта, проектирования и эксплуатации систем энергетики, регулирования стока, защиты от наводнений. Поэтому создание и развитие гидрологической сети напрямую связано с уровнем экономического развития той или иной страны.

Гидрологическая сеть на многих крупных реках Европы и Северной Америки была создана во второй половине XIX в. в период интенсивного промышленного развития европейских и североамериканских стран. Именно поэтому в странах Европы и Северной Америки создана наиболее густая гидрологическая сеть, имеющая к тому же самые продолжительные периоды регулярных наблюдений.

В последние десятилетия гидрологическая сеть, в том числе на малых реках и водотоках, создается не только из экономических соображений, но и для научных целей, в частности для изучения процессов формирования речного стока, усовершенствования методов гидрологических расчетов и прогнозов, оценки влияния деятельности человека на гидрологический цикл и водные экосистемы. В отдельных физико-географических зонах Земли начинают действовать экспериментальные воднобалансовые станции, ведущие учащенные наблюдения над всеми компонентами гидрологического цикла в системе «атмосфера — растительный покров — почва — подземные воды».

Понимание особой важности и ценности многолетних регулярных гидрологических наблюдений возникло в последние десятилетия в связи с исследованиями многолетних колебаний и изменений глобального климата, совершенствованием моделей общей циркуляции атмосферы, организацией долговременных международных глобальных и региональных экспериментов по изучению водноэнергетического цикла.

Распределение станций глобальной гидрологической сети по континентам приведено в табл. 12.1. (Rodda, 1995).

Как видно из таблицы, главной особенностью гидрологической сети на планете является ее территориальная неравномерность.

Другим, не менее серьезным недостатком, является практическая недоступность для мирового сообщества данных наблюдений большей части гидрологических станций, что обусловлено рядом объективных и субъективных причин. К ним прежде всего относится отсутствие данных на технических носителях, особенно за ранние периоды наблюдений, несвоевременная их подготовка, а также нежелание владельцев гидрологической информации передавать ее безвозмездно.

Все это привело к тому, что до настоящего времени в мире отсутствует сколько-нибудь систематизированная и достаточно полная база гидрологических данных наблюдений в глобальном масштабе. Особенно это касается репрезентативных суточных и месячных данных по стоку рек мира, для всех континентов и физико-географических зон. Следует отметить, что данные, приведенные в табл. 12.1, не в полной мере отражают современное состояние мировой гидрологической сети поскольку они основаны на сведениях, представленных странами в ВМО в конце 1980-х — начале 1990-х гг.

Осознавая необходимость сбора и систематизации гидрологических данных в глобальном масштабе, по инициативе и под эгидой ВМО, в сотрудничестве с ЮНЕСКО и с правительством Германии, в конце 1980-х гг. были созданы на постоянной основе Глобальный Центр данных по стоку рек (ГЦДС) в г. Кобленце и Глобальный центр данных по осадкам в Оффенбахе. В те же годы Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Программой ООН по Окружающей среде (ЮНЕП) совместно с правительством Канады по программе «Глобальная система мониторинга за окружающей средой. Вода». (GEMS WATER) был создан Центр по качеству поверхностных и подземных вод (Бэрлингтон, Онтарио).

Глобальный центр данных по стоку рек до настоящего времени является основным источником систематизированной информации о важнейшем компоненте гидрологического цикла — стоке рек в глобальном масштабе.

Гидрологические данные ГЦДС поступают главным образом от стран-членов ВМО в соответствии со специальными запросами. До 1990-х гг. Центр осуществлял сбор месячных и суточных данных за 1970—1980-е гг. по относительно малым водосборам

(до 10 000 км²), имеющим естественный режим стока. В последующие годы (с 1993 г.) ГЦДС отдает приоритет сбору гидрологической информации за все годы наблюдений для больших рек, которые имеют следующие характеристики:

- средний годовой расход воды более 100 м³/с;
- площадь водосбора более 1 000 000 км²;
- число жителей в бассейне более 100 000 человек.

К началу текущего столетия база данных ГЦДС содержала суточную и месячную информацию о стоке примерно по 3200 станциям на 2900 речных бассейнах (включая притоки). Эти данные охватывают территорию около 140 стран всех континентов и имеют продолжительность наблюдений от нескольких до 100–150 лет. Надежность и точность

данных самая различная, при этом большая часть наблюдений характеризует период только до 1980–1985 гг. Следует отметить также, что наибольшее поступление информации в Центр было отмечено в первые годы его существования, затем поток данных резко сократился. К настоящему времени Центр практически не имеет надежной и полной базы гидрологических данных для всего мира и особенно за последние пять–десять лет.

Традиционный сбор и обобщение гидрологических данных в глобальном и региональном масштабах выполняется также в рамках отдельных проектов Международной гидрологической программы ЮНЕСКО (МГП ЮНЕСКО) и Программы по гидрологии и водным ресурсам ВМО (ПГВР ВМО). В частности, такая работа была выполнена в 1970–

Таблица 12.1

Гидрологическая сеть в мире (Rodda, 1995)

Переменная	Тип станции	Количество станций						Общее количество
		Африка (Регион I) (1)	Азия (Регион II) (2)	С. Америка (Регион III) (3)	Сев. и Центр. Америка (Регион IV) (4)	Ю-З. часть Тихого океана (Регион V) (5)	Европа (Регион VI) (6)	
Осадки	Неавтоматич.	17 036	39 456	19 247	19 973	15 276	40 367	151 355
	Автоматическая	2 639	18 864	4 124	5 280	3 332	8 422	46 661
	Дистанционная	8	1 916	211	1 023	515	459	4 132
	Радар	9	56	3	82	8	35	193
Испарение	Испаритель	1 508	3 686	2 031	2 716	1 120	14 999	12 560
	Косвен. методы	374	7	40	11	10 499	488	19 699
Расход	Всего (*)	5 703	11 543	7 924	13 211	5 838	19 798	64 017
	Неавтоматич.	3 045	8 479	5 691	2 080	2 043	6 137	27 457
	Автоматическая	1 856	3 064	2 233	11 128	3 795	13 661	35 737
	Дистанционная	39	2 033	158	3 613	1 075	2 561	9 479
Уровень воды	Всего (*)	3 410	6 405	5 872	11 274	1 167	10 474	38 602
	Неавтоматич.	2 244	3 800	4 244	1 725	522	5 826	18 361
	Автоматическая	877	2 300	1 628	9 549	642	4 599	19 595
	Дистанционная	15	1 257	194	1 734	192	1 768	5 160
Расход наносов	Взвешенные	859	3 820	1 561	5 217	619	3 712	15 788
	Донные	6	685	505	0	1	549	1 746
Качество воды		5 297	5 045	2 752	31 462	1 690	55 379	101 625
Грунтовые воды	Уровень							
	— скважины наблюден.	4 884	16 657	1 133	19 818	18 585	85 075	146 152
	— производ. скважины	31 804	63 705	14 150	14 099	13 504	38 452	175 714
	Температура							
	— скважины наблюден.	287	2 541	5 200	21 097	4 888	18 967	52 980
	— производ. скважины	243	88	5 539	21 501	888	1 641	29 900
	Качество воды							
	— скважины наблюден.	4 898	1 964	320	13 757	7 935	14 889	43 763
— производ. скважины	5 674	45 187	3 416	14 825	3 127	23 711	95 985	

Примечание. * Суммарная величина включает станции, не выделенные как автоматические и неавтоматические.

1974 г. в России с целью оценки компонентов мирового водного баланса и водных ресурсов при подготовке монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (Корзун (ред.), 1974).

В последние 10 лет в рамках четвертой фазы МГП ЮНЕСКО в ГГИ была вновь выполнена большая работа по сбору, систематизации и обобщению данных по стоку рек мира (только месячные и годовые данные) для подготовки монографии «Мировые водные ресурсы на рубеже XXI века» (Shiklomanov, 2003). Для этого, помимо необходимых данных, отобранных из базы ГЦДС, было получено много дополнительной информации по запросам из различных стран мира.

Данные, приведенные в табл. 12.1, характеризуют состояние гидрологической сети на уровне 1980-х гг. и не отражают динамику сети во времени. Вместе с тем, как следует из различного рода публикаций, тенденция такова, что во многих странах мира в последние два десятилетия происходит заметное сокращение пунктов гидрологических наблюдений с существенным ухудшением их качества.

Прежде всего сокращение гидрологической сети происходит во многих развивающихся странах Африки, Азии и Латинской Америки.

Аналогичная картина сокращения сети наблюдается и в странах с переходной экономикой, прежде всего в странах бывшего СССР. Например, в России наибольшее количество створов было в 1986 г., в последующие годы началось заметное сокращение сети, и к настоящему времени оно составило 30%. При этом наибольшее сокращение приходится на азиатскую часть страны, слабообжитые районы арктической зоны Сибири и Дальнего Востока, которые всегда характеризовались очень малой густотой гидрологической сети. Приведенные данные являются типичными практически для всех стран бывшего СССР. Резко сократилась гидрологическая сеть даже в бассейне Аральского моря (Чуб, 2000), который, как известно, является общепризнанным регионом экологического бедствия из-за чрезвычайно интенсивного хозяйственного использования водных ресурсов.

Тенденция сокращения гидрологической сети имеет глобальный характер, поскольку она наблюдается не только в развивающихся странах и в странах с переходной экономикой, но и в некоторых развитых странах. Так, в соответствии с данными (Lanfear, Hirsch, 1999), сокращается гидрологическая сеть в США. В бассейне Северного Ледовито-

го океана, начиная с середины 1980-х гг., гидрологическая сеть сократилась примерно на 30%, причем почти одинаково как в российской, так и в североамериканской частях бассейна. При этом в отдельных крупных регионах России и Канады сокращение сети достигло 50–60% (Shiklomanov A. et al., 2001).

Специфической особенностью гидрологической информации является большая трудность ее своевременного получения и обмена, что обусловлено рядом причин. Гидрологические данные, пригодные для передачи и обмена, в отличие от метеорологических, требуют много времени для подготовки. Часто из-за отсутствия средств и технических возможностей измеренные расходы и уровни не обрабатываются в течение многих лет и тогда данные о стоке невозможно получить весьма продолжительное время.

Другая трудность заключается в том, что в отличие от метеоданных, многие страны не имеют заинтересованности в регулярном обмене гидрологической информацией. Например, страны, расположенные в верхних частях речных бассейнов, обычно не нуждаются в данных с нижележащих территорий и таким образом полагают, что не может быть равноценного обмена гидрологической информацией. Особенно трудно также получить надежные данные из районов дефицита водных ресурсов, из международных бассейнов в условиях конфликтных ситуаций в отношении уровня использования пресных вод различными странами, находящимися в бассейне. Для таких бассейнов гидрологические данные часто рассматриваются, как важнейшая экономическая информация, не предназначенная для обмена и широкого распространения.

Таким образом, исходя из современного состояния мировой гидрологической сети и специфических особенностей гидрологической информации, международные и национальные центры испытывают серьезные трудности при выполнении работ по обобщению данных о стоке рек в глобальном масштабе. Эти трудности заключаются в следующем:

— разная полнота и разнородность во времени поступления информации из разных стран мира: если из стран Европы и Северной Америки можно получить достаточно полные данные за самые последние годы, то из многих развивающихся стран практически невозможно в полном виде получить информацию за последние 10–15 лет;

— обычно поступают данные не по тем гидро-створам, которые необходимы для анализа и обобщения, а по тем, которые страны считают целесообразным представить;

— существенно разное качество получаемой информации, часто без анализа надежности и точности данных;

— обычно отсутствуют данные по стоку в устьях рек; по многим крупным рекам сток приводится по створам, которые расположены в сотнях километров от устья (например, сток Амазонки измеряется в 1000 км от устья, сток Енисея — в 350 км от устья);

— отсутствует анализ влияния хозяйственной деятельности в бассейне на гидрологический режим, в особенности регулирования стока; многие данные по стоку рек (суточные, месячные), направленные в Центры по сбору информации, отражают не естественный гидрологический режим в бассейне, а характер регулирования стока водохранилищами.

Для решения проблем сбора гидрологических данных в режиме, близком к реальному времени, еще в начале 1990-х гг. ВМО совместно с Мировым банком было инициировано создание Всемирной системы наблюдений за Гидрологическим циклом (ВСНГЦ). На базе существующих гидрологических станций предполагалось установить на крупнейших реках мира примерно 1000 специальных платформ, которые в автоматическом режиме измеряли бы уровень воды, различные физико-химические показатели качества воды, метеорологические характеристики (всего 15 компонентов) и через геостационарные спутники пересылали бы эти данные в национальные, региональные и глобальные Центры (Rodda et al., 1993; Rodda, 1995). Планировалось, что в течение примерно 20 лет такая система может быть создана, и это даст хорошую основу для получения в глобальном масштабе гидрологических данных в оперативном режиме.

Однако практическая реализация этого проекта, начатая в 1995 г., осуществляется не на основе единой концепции развития ВСНГЦ, а по принципу организации региональных систем наблюдений за гидрологическим циклом. Проблема заключается в том, что в организации региональных проектов заинтересованы страны региона и, разрабатывая проектную документацию, они, прежде всего, стремятся решать свои насущные региональные проблемы, связанные с обменом гидрологических данных, необходимых, например, для оперативного

прогнозирования, управления водными ресурсами, предупреждения о чрезвычайных ситуациях и т. п. При этом глобальные аспекты изучения гидрологического цикла и связанные с ними методические вопросы, т. е. те задачи, для решения которых инициировалось создание ВСНГЦ, практически не рассматриваются.

Принятая современная реализация ВСНГЦ по региональному принципу вряд ли даст возможность в ближайшие десять — пятнадцать лет получать в оперативном режиме гидрологические данные, необходимые для надежной оценки суммарного стока рек мира и притока речных вод в мировой океан.

Для оценки возобновляемых водных ресурсов в глобальном масштабе и изучения изменений глобального гидрологического цикла прежде всего необходимо решить две задачи: во-первых, получить в оперативном режиме надежные месячные и ежегодные характеристики по притоку речных вод в различные моря и океаны и в целом в мировой океан; во-вторых, выполнить оценку среднего речного стока и его распределения по территории крупных речных бассейнов, природно-экономических регионов, избранных стран и континентов.

Для надежного решения указанных задач необходимо использование данных имеющейся сети наблюдений за стоком рек, осадками и температурой воздуха.

Как показывает опыт выполненных обобщений и оценок по стоку рек мира, для решения первой задачи необходимо:

— информация всего по нескольким сотням (не более 400–500) гидрологических створов, размещенных в устьях наиболее крупных рек мира;

— данные наблюдений по месячным величинам осадков и температуры воздуха для специально выбранных метеостанций, расположенных в устьевых зонах крупных рек;

— методика оценки притока с территорий, не охваченных наблюдениями; это примерно 15–20% суши, расположенной ниже створов избранных рек и включающей бассейны малых рек, непосредственно впадающих в моря.

Для решения второй задачи этих данных будет недостаточно; необходимо дополнительно привлечь данные по стоку рек в зонах формирования водных ресурсов основных речных систем (примерно 800–1000 створов). Могут потребоваться дополнительно и метеорологические данные на средних и верхних частях бассейнов избранных рек.

Важнейшим этапом решения указанной задачи является разработка надежной модели для оценки средних величин месячного и годового стока рек любого региона с использованием имеющихся данных метеорологических и гидрологических наблюдений и детальной ГИС — информации о подстилающей поверхности.

Таким образом, главными аспектами в решении рассматриваемых задач являются:

— правильный выбор наиболее репрезентативных и надежных гидрологических створов и метеостанций;

— использование простой, но физически обоснованной для различных физико-географических условий методики расчета стока;

— оперативный режим по сбору, передаче, обобщению и распространению гидрометеорологической информации.

12.4. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ МИРОВЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

12.4.1. Исходные данные и методы оценки, использованные ГГИ

Методическая основа современных оценок возобновляемых водных ресурсов в глобальном масштабе, выполненная в ГГИ в последние годы — широкое использование данных наблюдений мировой гидрологической сети. При этом метеорологическая информация (температура воздуха и осадки) использовалась как вспомогательная.

Из имеющихся данных мировой гидрологической сети в той или иной степени были использованы данные примерно по 40 тыс. пунктов наблюдений. Это самая различная по качеству информация по стоку рек разных стран, часто имеющая фрагментарный характер за отдельные годы и даже месяцы. Также были использованы данные наблюдений, послужившие основой для построения национальных или региональных карт среднегодового стока рек.

Непосредственное использование всей этой несистематизированной информации для оценки динамики водных ресурсов в глобальном масштабе было бы невозможно, поэтому для дальнейшего анализа были отобраны гидрологические створы,

которые соответствовали следующим основным условиям:

— наличие наиболее продолжительных рядов непрерывных наблюдений;

— размещение створов на больших и средних реках с максимально возможным равномерным охватом территории;

— наблюдения должны отражать естественный (или близкий к естественному) режим речного стока.

Таким образом, непосредственно для оценки возобновляемых водных ресурсов в глобальном масштабе были использованы данные наблюдений (месячные и годовые значения) примерно по 2500 гидростворов, при этом по территории Азии использовано примерно 800 гидростворов, Европы — 600, Северной Америки — 400, Африки и Южной Америки — по 250, по Австралии и Океании — около 200. Распределение основных из этих станций по территории континентов показано на рис. 12.1.

Наличие продолжительного ряда наблюдений было одним из главных условий выбора гидрологических створов, поскольку это отвечало основному принятому в ГГИ методическому принципу — оценка водных ресурсов для всех континентов и регионов мира должна быть выполнена в динамике за один и тот же достаточно продолжительный многолетний период для получения однородных и сопоставимых результатов. Следует отметить, что значительное число отобранных гидростворов, особенно расположенных в развивающихся странах Африки, Азии и Латинской Америки, имели очень короткие ряды наблюдений (5–10 лет); при этом для большинства створов данные наблюдений имелись только по 1980–1988 гг. Для оценки и анализа динамики возобновляемых водных ресурсов для всех континентов и регионов мира оказалось возможным принять единый расчетный период с 1921 по 1985 г., хотя для многих стран Европы и Северной Америки имеются данные и за более поздние, в том числе за самые последние годы.

Восстановление пропусков в рядах наблюдений за месячным стоком для всех выбранных гидростворов осуществлялось с использованием хорошо известных корреляционных методов. При этом за основу обычно принимались данные наблюдений по стоку на других близлежащих створах данной реки или на ее притоках. При отсутствии таких наблюдений использовались данные по стоку рек-аналогов, водосборы которых расположены в том же регионе при одинаковых физико-географических условиях и особенностях гидрологического

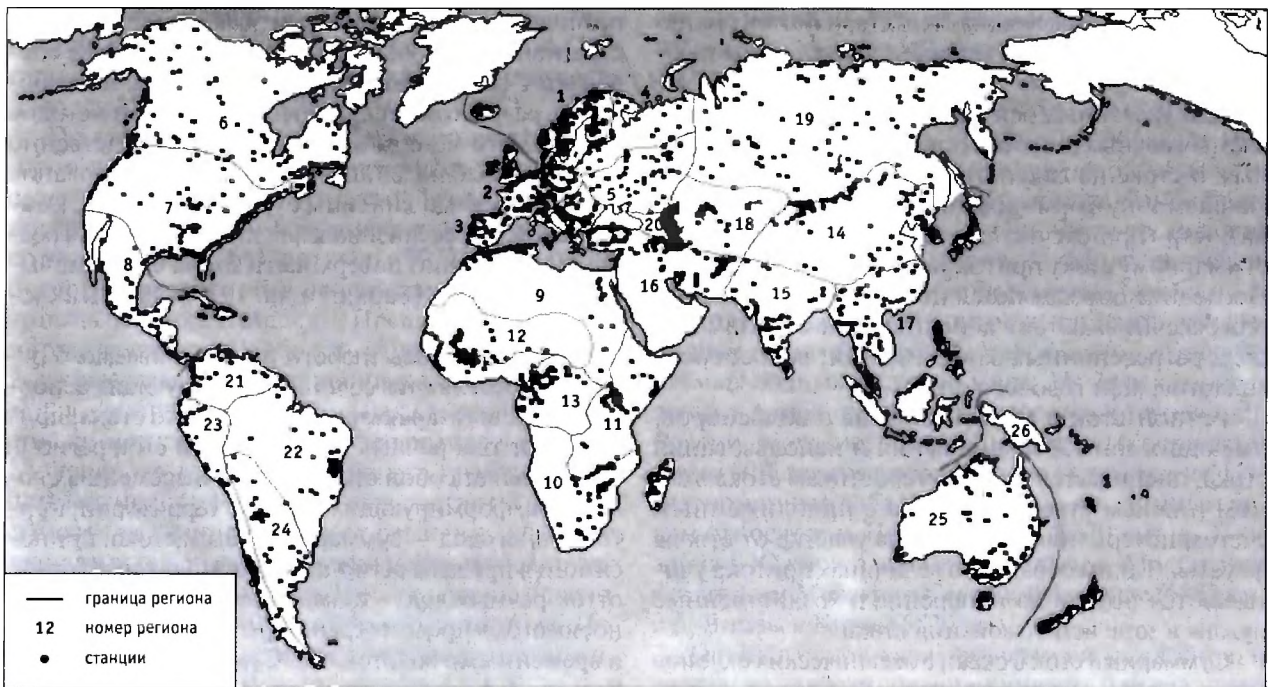


Рис. 12.1. Распределение гидрологических станций по природно-экономическим регионам и континентам

режима. Величины годового стока для лет с пропусками в наблюдениях определялись путем суммирования рассчитанных месячных величин.

Аналогичные процедуры применялись для продолжения рядов наблюдений на выбранных створах для достижения периода 1921–1985 гг. Однако здесь чаще приходилось использовать данные рек-аналогов; во многих случаях для получения более надежных результатов привлекались метеорологические данные: наблюдения за осадками и температурой воздуха. Для этой цели использовалась доступная мировая база метеорологической информации: месячные осадки и температура воздуха за весь период наблюдений по более чем 7000 метеорологических станций.

Характеристики водных ресурсов бассейнов, в которых величина стока увеличивается по длине реки, определялись с использованием стандартных статистических приемов по данным о стоке в створе, где он имеет наибольшую величину, и по стоку притоков, впадающих в реку ниже створа до впадения ее в океан (море).

При отсутствии данных по притокам, величина стока ниже замыкающего створа оценивалась с использованием имеющихся карт среднегодового стока и по стоку рек — аналогов в рассматриваемом

регионе. В отдельных случаях привлекались метеорологические данные. Следует отметить, что на многих крупных реках мира замыкающие створы находятся на достаточно большом расстоянии от устья и определение суммарных водных ресурсов бассейна, и особенно притока в океан, только по данным на этих створах (как это часто делается) может привести к серьезным погрешностям в оценках.

Многие бассейны крупных рек, особенно южных регионов, имеют резко различающиеся по условиям формирования стока верхние и нижние части бассейнов. Верхняя часть этих бассейнов, как правило, это горные и предгорные районы, представляет собой зону формирования стока, где формируются основные водные ресурсы бассейна. Нижняя часть бассейна — равнины и низменности с жарким, сухим климатом, представляет собой зону использования стока на естественное испарение и на хозяйственные нужды. Такие бассейны имеют практически все реки, относящиеся к областям внутреннего стока или бессточным областям (например, Амударья, Сырдарья, Кура и др.), а также многие реки областей внешнего стока, расположенные в низких широтах (например, Ганг и Брахмапутра, Тигр и Евфрат, Инд, Нил, Замбези, Колорадо, Рио-Гранде и многие другие). Все реки,

имеющие такие бассейны, характеризуются уменьшением объема стока главной реки от зоны формирования до устья.

Для указанных рек характеристики возобновляемых водных ресурсов определяются или по данным о стоке на гидростворе главной реки, замыкающей зону формирования (горная часть бассейна), или (при отсутствии такого гидроствора) по суммарному стоку притоков в зоне формирования. Последние определяются по данным наблюдений или рассчитываются с использованием различного рода регрессионных зависимостей, водосборов-аналогов, карт годового стока.

Речной сток в моря и океаны с водосборов, имеющих зоны формирования и использования стока, оценивается по характеристикам стока в самом нижнем створе бассейна с приближенным учетом потерь (или притока) на участке от створа до устья. Таким образом, в величинах притока учитываются потери на испарение и хозяйственные нужды в зоне использования стока.

Суммарный сток в океан с океанических склонов каждого континента рассчитывается путем суммирования стока всех характеристик по всем речным водосборам, за исключением территорий, относящихся к областям внутреннего стока или бессточным; на каждом континенте бессточные области занимают весьма значительные территории. Для малых и средних рек, непосредственно впадающих в моря и океаны и не имеющих данных наблюдений, стоковые характеристики рассчитываются по данным о стоке с водосборов-аналогов с использованием регрессионных зависимостей, иногда с привлечением метеорологических данных.

Водные ресурсы и приток в океаны с островов определялись с использованием имеющихся данных наблюдений по стоку рек и метода гидрологической аналогии. При отсутствии данных и невозможности использовать метод аналогии, водные ресурсы островов, относящихся к южной и восточной Азии, Африке, Южной и Центральной Америке, были определены в среднем для многолетнего периода по имеющимся картам стока, а за отдельные годы по модульным коэффициентам осадков.

Водные ресурсы островов Северного Ледовитого океана определены главным образом по методу аналогии или по водному балансу, при этом водосборы-аналоги в большинстве случаев выбирались на континенте.

Для определения количественных характеристик возобновляемых водных ресурсов природно-эко-

номических регионов, стран, различных административных образований, границы которых не совпадают с границами речных водосборов, потребовалась разработка специальных моделей и методов расчета. Эти методы базируются непосредственно на данных наблюдений и включают использование изолиний стока, линейных уравнений стока, комплексной регрессии и моделей интегрального осреднения уравнений поверхности стока с учетом высоты местности (Бабкин и др. 1977, 1986; Шикломанов, 1988).

Водные ресурсы любого рассматриваемого региона определяются сочетанием следующих основных стоковых характеристик: местного стока, притока и оттока речных вод. Местный сток региона представляет собой сток всех рек и временных водотоков, формирующихся на его территории; приток речных вод — суммарный объем стока, приносимого в пределы региона со смежных территорий; отток речных вод — суммарный объем стока, выносимого за пределы границ региона всеми реками и временными водотоками. Сумма значений местного стока и притока речных вод представляет собой суммарные или общие возобновляемые водные ресурсы региона. Как правило, чем больше площадь региона, тем меньше различие между суммарными и местными водными ресурсами. Для континентов они практически совпадают, для большинства больших по площади стран и природно-экономических регионов эти различия незначительны. Однако для малых по площади стран и отдельных природно-экономических регионов общие водные ресурсы могут превышать местный сток во много раз. В последнем случае неучет соотношений между общими и местными водными ресурсами при оценке величин реальной водообеспеченности может привести к неправильным результатам и выводам.

Характеристики годовых водных ресурсов каждого региона были определены по данным наблюдений, используя или так называемый метод линейных уравнений стока, или метод интегрального осреднения поверхности стока.

По первому методу расчеты для каждого региона производятся по линейным уравнениям стока с использованием ежегодных значений стока на гидростворах и с учетом весовых коэффициентов, представляющих собой отношение объема стока в створе наблюдений к объему стока, отнесенному к части водосбора в границах рассматриваемого региона. Значения весовых коэффициентов принимаются обычно постоянными для всех лет расчетного пе-

риода и определяются по значениям стока, полученным по картам слоя или модуля нормы стока (Методы... 1981) или путем отношений соответствующих площадей водосборов (Бабкин и др., 1977).

По второму методу оценка характеристик водных ресурсов для каждого региона сводится к определению двойного интеграла от функции поверхности стока с учетом координат водосборов и высоты местности (Бабкин и др., 1977). Уравнение поверхности стока обычно принимается в виде полинома некоторой степени. Преимуществом этого метода является способность использования одних и тех же расчетных уравнений и коэффициентов для различных гидрологических створов, количество которых может изменяться от года к году.

Основная трудность широкого практического применения указанного метода состоит в необходимости разработки для всех регионов надежных зависимостей стока от высоты местности и других факторов, что требует наличия детальной гидрологической информации для каждого региона. Поэтому этот метод был применен только для отдельных регионов территории бывшего СССР.

Наличие годовых значений водных ресурсов и притока в Мировой океан за достаточно длительный период (1921–1985 гг.) дает возможность оценить их многолетнюю изменчивость, которая выражается, как это принято в гидрологических расчетах, в виде коэффициента изменчивости C_v .

Как известно, возобновляемые водные ресурсы имеют большую изменчивость не только от года к году, но и внутри года — по сезонам и месяцам. Применительно к речным водосборам она определялась непосредственно по данным наблюдений на основных створах по месяцам в процентах от годового стока, в среднем за весь многолетний период или за группы лет с различной водностью (многоводные, средние, маловодные). Для природно-экономических регионов и континентальных склонов месячные значения водных ресурсов определялись в долях от годовых величин путем суммирования данных о месячном стоке основных речных бассейнов, расположенных на их территориях.

12.4.2. Речные бассейны

Основой для оценки возобновляемых водных ресурсов стран, регионов, континентов является сток речных бассейнов, который рассчитывается по данным наблюдений гидрологической сети. В табл. 12.2 представлены данные о водных ресур-

сах крупнейших речных бассейнов мира, среднегодовая величина водных ресурсов которых более 100 км^3 в год.

Величайшая река мира по площади водосбора и объему годового стока — Амазонка обладает 16% суммарного стока рек мира, а водные ресурсы пяти крупнейших речных систем (Амазонка, Ганг с Брахмапутрой, Конго, Янцзы, Ориноко) составляют 27% возобновляемых мировых водных ресурсов. Реки, данные по которым представлены в табл. 12.2, располагаются на всех континентах Земли, их суммарные водные ресурсы составляют 40% возобновляемых водных ресурсов мира. Из 30 рек, приведенных в таблице, восемь относятся к территории России, их суммарные водные ресурсы составляют почти 60% всех ресурсов речного стока страны. Согласно данным табл. 12.2, к наиболее длинным рекам относятся р. Нил в Африке (6670 км), р. Амазонка в Южной Америке (6280 км), р. Миссисипи с притоком Миссури в Северной Америке (5885 км) и р. Янцзы в Китае (5520 км).

Очень важной характеристикой каждой реки является многолетняя изменчивость или величина колебаний годового стока от года к году, которая может быть выражена амплитудой колебаний стока за период наблюдений или коэффициентами изменчивости стока C_v . Для крупнейших рек мира (табл. 12.2), величина этого коэффициента изменяется от 0,04–0,10 до 0,20–0,26. Очевидно, что чем меньше изменчивость водных ресурсов бассейна, тем больше возможностей их использования в хозяйственных целях без многолетнего регулирования.

Следует отметить, что данные, представленные в табл. 12.2, характеризуют суммарные возобновляемые водные ресурсы бассейнов. Для некоторых речных бассейнов, имеющих зоны формирования и зоны использования стока, приведенные величины могут значительно превышать величины стока в устье реки при впадении в море (океаны) в результате потерь на естественное испарение и хозяйственные нужды.

В этом отношении весьма показательным являются приведенные на рис. 12.2 данные по динамике за многолетний период водных ресурсов и стока в устье для крупнейших речных систем Средней Азии: Амударья и Сырдарья (Tsytzenko, 2003). Общая площадь бассейнов этих рек, впадающих в бессточное Аральское море, составляет $1,54 \text{ млн км}^2$ и состоит из двух частей: горная и предгорная зона Тянь-Шаня и Памира, где формируется сток рек,

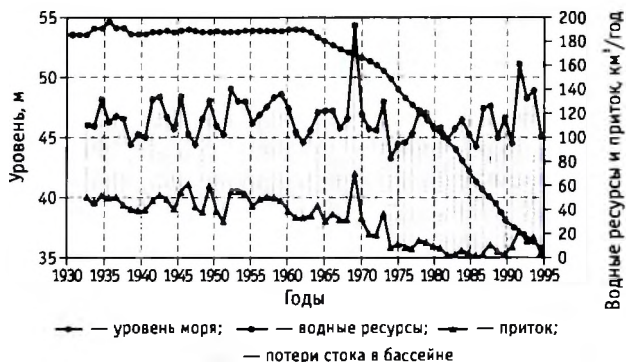


Рис. 12.2. Динамика многолетних колебаний возобновляемых водных ресурсов и стока в устьях рек Амударьи и Сырдарьи

и равнинная территория (пустыни и полупустыни Туранской низменности), где происходит использование водных ресурсов на естественное испарение и на хозяйственные нужды (главным образом, орошение).

Как показано на рис. 12.2, динамика водных ресурсов указанных рек, определенная по данным наблюдений в зоне формирования, имеет достаточно стабильный характер за весь рассматриваемый период (1930–1995 гг.) и составляет в среднем 114 км³/год, в том числе 76 км³/год по бассейну Амударьи и 38 км³/год по бассейну Сырдарьи. Совершенно другие характеристики имеет сток указанных рек в устье (при впадении в Аральское море),

Таблица 12.2

Возобновляемые водные ресурсы крупнейших рек мира

Река	Континент	Площадь, млн км ²	Длина, км	Водные ресурсы, км ³			Коэффициент вариации C_v	Средний слой стока, мм
				среднее	мин.	макс.		
Амазонка	Ю. Америка	6,92	6280	6920	5790	8510	0,08	1000
Ганг	Азия	1,75	3000	1389	1220	1690	0,04	794
Конго	Африка	3,50	4370	1300	1050	1775	0,10	371
Ориноко	Ю. Америка	1,00	2740	1010	710	1380	0,15	1010
Янцзы	Азия	1,81	5520	1003	610	1410	0,15	554
Ла-Плата	Ю. Америка	3,10	4700	811	450	1860	0,26	262
Енисей	Азия	2,58	3490	651	466	749	0,08	252
Лена	Азия	2,49	4400	543	424	670	0,12	218
Миссисипи	С. Америка	2,98	5985	515	281	881	0,24	173
Меконг	Азия	0,79	4500	505	376	610	0,16	639
Обь	Азия	2,99	3650	407	270	586	0,15	136
Амур	Азия	1,86	2820	359	225	538	0,20	193
Макензи	Ю. Америка	1,78	4240	325	284	427	0,12	183
Св. Лоуренс	С. Америка	1,03	3060	320	242	405	0,10	312
Нигер	Африка	2,09	4160	303	163	482	0,26	145
Волга	Европа	1,38	3350	260	161	390	0,17	188
Колумбия	С. Америка	0,67	1950	237	144	331	0,18	355
Магдалена	Ю. Америка	0,26	1530	230	—	—	0,08	846
Дунай	Европа	0,82	2860	225	137	321	0,18	274
Инд	Азия	0,96	3180	220	126	359	0,19	229
Юкон	С. Америка	0,85	3000	196	122	335	0,26	231
Нил	Африка	2,87	6670	161	94,8	248	0,16	56,1
Замбези	Африка	1,33	2660	154	—	—	0,19	116
Огове	Африка	0,203	850	149	—	—	0,15	734
Флай	Нов. Гвинея	0,064	620	142	—	—	0,16	2219
Печора	Европа	0,32	1810	131	115	174	0,15	409
Колыма	Азия	0,65	2130	128	74,4	203	0,23	197
Сепик	Нов. Гвинея	0,081	700	120	—	—	0,16	1481
Фрейзер	С. Америка	0,23	1110	115	82	155	0,13	494
С. Двина	Европа	0,36	744	103	81,8	152	0,16	286

как по величине, так и по динамике во времени. До 1961 г. приток в море имел стационарный вид и составлял в среднем примерно 50 км^3 в год, т. е. примерно 64 км^3 водных ресурсов затрачивалось на естественное испарение и на хозяйственные нужды. При этом увеличение водопотребления в зоне исследования в этот период целиком компенсировалось уменьшением непродуктивного испарения (Шикломанов, 1989; Tsytsenko, 2003). В последние годы, ввиду дальнейшего расширения орошаемых площадей в бассейне и на прилегающих территориях и истощения компенсационных ресурсов, сток рек в устье стал резко уменьшаться, и началось интенсивное падение уровня Аральского моря (к настоящему времени он упал более чем на 20 м) со всеми крайне негативными экологическими и экономическими последствиями. Эти последствия охватили огромные территории всего Аральского региона, который был объявлен регионом экологического бедствия (UNESCO, 2000).

Весьма существенные различия между суммарными водными ресурсами и стоком в устье имеют место и на других речных системах, где выделяются зоны формирования и использования водных ресурсов. Например, водные ресурсы бассейна р. Нил оцениваются в $161 \text{ км}^3/\text{год}$ при стоке в устье $54 \text{ км}^3/\text{год}$, для р. Нигер эти величины составляют соответственно 300 и $134 \text{ км}^3/\text{год}$, для р. Замбези — 154 и $111 \text{ км}^3/\text{год}$, для р. Ганг с Брахмапутрой — 1390 и $1250 \text{ км}^3/\text{год}$ и т. д. Учет этих различий имеет большое значение для оценки притока речных вод в моря и океаны и для изучения их водного баланса.

12.4.3. Континенты и природно-экономические регионы

Крупные природно-экономические регионы мира по методике ГГИ являются основными объектами исследований и используются не только для глобальной оценки водных ресурсов, но и водопотребления, распределения их во времени и в пространстве, для определения водообеспеченности территорий и населения и степени нагрузки на водные ресурсы в глобальном масштабе.

Указанные природно-экономические регионы были выделены на территории каждого континента по принципу однородности физико-географических и социально-экономических условий. Всего таких регионов было выделено 26, от 3 до 8 — на каждом континенте. В большинстве случаев грани-

цы регионов проходили по административным государственным границам и, таким образом, в состав региона включались целиком территории отдельных стран мира (от одной до 15–17 стран). Это было сделано, главным образом, в связи с необходимостью анализа величин водных ресурсов совместно с динамикой численности населения, площадей орошаемых земель, объемов водопотребления и других характеристик социально-экономического развития, статистические данные по которым публикуются только по странам мира. Исключения составляли крупнейшие по площади страны мира: Россия, Китай, США, отдельные части которых включались в разные природно-экономические регионы. На рис. 12.1 на схематической карте мира показаны границы и номера регионов. Площади выделенных регионов колеблются в очень больших пределах: от 12–13 млн км^2 (Сибирь и Дальний Восток России, Канада и Аляска) до 0,19 млн км^2 (Закавказье), хотя большая часть регионов имеет площади от 1 до 8 млн км^2 . Распределение стран по природно-экономическим регионам представлено в табл. 12.3.

Для каждого региона, используя данные наблюдений и методические подходы, изложенные выше, были получены ежегодные характеристики возобновляемых водных ресурсов за единый период (1921–1985 гг.). Средние значения этих характеристик в виде местных водных ресурсов, которые формируются на территории региона, и суммарного притока речных вод с соседних территорий, представлены в табл. 12.4.

Как следует из приведенных данных, в большинстве регионов основные водные ресурсы формируются на территории региона, и приток извне не играет заметной роли. Исключение составляют регионы № 3, 5, 10, 18 и 22, где величина притока достигает 20–25% местных водных ресурсов, а в регионах 9 и 24 (Северная Африка и Центральная часть Южной Америки) приток по величине сопоставим с местными водными ресурсами или даже превышает их в несколько раз.

Анализ полученных средних величин возобновляемых водных ресурсов регионов показывает, что они, главным образом, определяются климатическими факторами. Об этом, в частности, свидетельствует представленная на рис. 12.3 зависимость местных водных ресурсов (в мм слоя) от комплексного климатического параметра — индекса сухости

$\frac{R_0}{PL}$, где (R_0 — радиационный баланс увлажненной

поверхности; P — осадки; L — скрытая теплота испарения.

Величина индекса сухости была определена приближенно для каждого региона с использованием наиболее детальных мировых карт радиационного баланса и осадков (Будыко, 1956; Корзун (ред.), 1974).

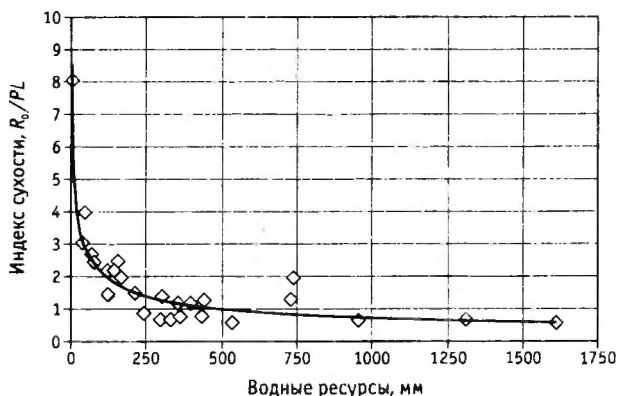


Рис. 12.3. Зависимость водных ресурсов от индекса сухости

В соответствии с рис. 12.3, максимальная величина индекса сухости соответствует минимальным водным ресурсам и наоборот. Естественно, что приведенная зависимость, не учитывающая многие факторы формирования речного стока (топография, растительность, почвы и др.), не может быть использована для надежной оценки водных ресурсов. Она лишь наглядно демонстрирует тот факт, что климат является главным фактором их формирования.

Приведенные на рис. 12.3 величины рассчитаны по среднегодовым характеристикам речного стока. Между тем межгодовая изменчивость водных ресурсов природно-экономических регионов может быть очень значительной, что необходимо учитывать при оценках водообеспеченности. Особенно это касается аридных и семиаридных регионов, где сами величины водных ресурсов очень невелики. Здесь коэффициенты изменчивости $C_V = 0,20 - 0,35$ и величины возобновляемых водных ресурсов в отдельные годы могут быть в 1,5–2 раза меньше средних за многолетний период. Для многоводных регионов коэффициенты изменчивости обычно составляют $C_V = 0,05 - 0,15$, и различия между годовыми и среднегодовыми значениями водных ресурсов обычно находятся в пределах 15–25% (табл. 12.4).

В табл. 12.4 представлены данные по потенциальной удельной водообеспеченности территории регионов и проживающего там населения в виде

Таблица 12.3

Распределение стран по природно-экономическим регионам

№ региона	Континент, регион	Страны (части стран), входящие в регион
Европа		
1	Северная	Дания, Финляндия, Исландия, Норвегия, Швеция
2	Западная и Центральная	Австрия, Бельгия, Чехия, Франция, Германия, Ирландия, Лихтенштейн, Люксембург, Монако, Нидерланды, Польша, Словакия, Швейцария, Великобритания
3	Южная	Албания, Андорра, Азорские острова (Испания), Босния и Герцеговина, Болгария, Хорватия, Гибралтар, Греция, Венгрия, Италия, Мальта, Португалия, Румыния, Сан Марино, Словения, Испания, Республика Македония, Ватикан, Югославия
4	Север ЕТ бывшего СССР	часть Белоруссии, Эстония, Латвия, Литва, Север Европейской территории России
5	Юг ЕТ бывшего СССР	Часть Белоруссии, Молдова, юг Европейской территории России, Украина
Северная Америка		
6	Канада и Аляска	Канада, Аляска (штат США)
7	США	США за исключением Аляски и Гавайи
8	Центральная Америка и страны Карибского бассейна	Ангилья, Антигуа, Аруба (Нидерланды), Багамские острова, Барбадос, Барбуда, Белиз, Бермудские острова, Виргинские острова (Великобритания), Каймановы острова, Коста-Рика, Куба, Доминика, Доминиканская Республика, Сальвадор, Франция (Гваделупа), Франция (Мартиника), Гренада, Гватемала, Гаити, Гондурас, Ямайка, Мексика, Никарагуа, Панама, Пуэрто-Рико, Сен-Китс и Невис, Сен-Мартен, Сен-Винсент, Тринидад и Тобаго, Теркс и Кайкос, Виргинские острова (США)
Африка		
9	Северная	Алжир, Египет, Ливия, Марокко, Испания (Канарские острова), Судан, Тунис, Западная Сахара
10	Южная	Ангола, Ботсвана, Кабинда (Ангола), Лесото, Малави, Мозамбик, Намибия, Южная Африка, Свазиленд, Замбия, Зимбабве
11	Восточная	Бурунди, Коморские острова, Джибути, Эритрея, Эфиопия, острова Европы, Франция (Реюньон), Кения, Мадагаскар, Маврикий, Майотта, Руанда, Сейшельские острова, Сомали, Танзания, Уганда
12	Западная	Бенин, Буркина-Фасо, Кабо-Верде, Чад, Кот-д'Ивуар, Гамбия, Гана, Гвинея, Гвинея-Бисау, Либерия, Мали, Мавритания, Нигер, Нигерия, Сенегал, Сьерра-Леоне, Того
13	Центральная	Камерун, Центральная Африка, Конго, Экваториальная Гвинея, Габон, Сан-Томе и Принсипи, Заир
Азия		
14	Северный Китай и Монголия	Китай (кроме бассейна р. Янцзы), КНДР, Монголия, Республика Корея

Окончание табл. 12.3

№ региона	Континент, регион	Страны (части стран), входящие в регион
15	Южная	Бангладеш, Бутан, Индия, Мальдивские острова, Непал, Пакистан, Шри-Ланка
16	Западная	Афганистан, Бахрейн, Кипр, Иран, Ирак, Израиль, Иордания, Кувейт, Ливан, Оман, Катар, Йеменская Республика, Саудовская Аравия, Сирия, Турция, Объединенные Арабские Эмираты
17	Юго-Восточная	Бруней-Даруссалам, Камбоджа, Китай (бассейн р. Янцзы), Гонконг, Индонезия, Япония, Лаос, Малайзия, Мьянма, Филиппины, Сингапур, Тайвань, Таиланд, Вьетнам
18	Центральная Азия и Казахстан	Казахстан, Киргизстан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан
19	Сибирь и Дальний Восток России	Азиатская территория России
20	Кавказ	Армения, Азербайджан, Грузия
Южная Америка		
21	Северная	Колумбия, Франция (Гвиана), Гайана, Суринам, Венесуэла, Бразилия
22	Восточная	Чили, Эквадор, Перу
23	Западная	Аргентина, Боливия, Фолклендские острова, Парагвай
24	Центральная	Уругвай
Австралия и Океания		
25	Австралия	Австралия
26	Океания	острова Кука, Фиджи, Французская Полинезия, Гавайи (США), Науру, Новая Каледония, Новая Зеландия, Ниуэ, Папуа Новая Гвинея, Соломоновы острова, Тонга, Тувалу, Вануату, Западное Самоа

слоя речного стока (в мм), равномерно распределенного по территории и объема речной воды (в тыс. м³ в год), приходящегося на одного жителя. Потенциальная водообеспеченность территории определена по величине местных водных ресурсов, а населения — по сумме местных водных ресурсов и половины притока речных вод, т. е. условно предполагалось, что население каждого региона может рассчитывать на использование только половины объема водных ресурсов, поступающих с других территорий.

Представленные в таблице данные по удельной водообеспеченности свидетельствуют об исключительно неравномерном распределении возобновляемых водных ресурсов по территории нашей планеты, которое, в общем, не совпадает с распределением численности населения, а следовательно, с потребностью в воде. Водообеспеченность терри-

тории (слой речного стока) изменяется по регионам от 15–50 мм до 1300–1600 мм, а водообеспеченность населения — от 700–2000 м³ в год на одного жителя до 40 000–190 000 (табл. 12.4).

Возможности хозяйственного использования водных ресурсов определяются не только их изменчивостью от года к году, но и по сезонам и месяцам года. Внутригодовое распределение суммарного стока рек природно-экономических регионов мира (по месяцам в процентах от годового) представлено в табл. 12.5. Как следует из данных таблицы, многие регионы характеризуются крайне неравномерным распределением речного стока внутри года, когда в течение паводочного сезона, продолжающегося 3–4 месяца, проходит 50–70% годового стока. Например, за три паводочных месяца на севере и юге европейской территории бывшего СССР проходит 54% годового стока, в Сибири и Дальнем Востоке, в Южной Азии, в Западной Африке и в Австралии — 64–68%.

В то же время за период межени, продолжающийся 3–4 месяца, в некоторых регионах речной сток составляет всего 4–10% от годового стока. Например, за три межениных месяца на севере ЕТС, в Канаде и Аляске, на севере Китая и Монголии речной сток составляет 8–9% от годового, в Центральной Америке и Западной Африке — 6–7%, в Сибири и Дальнем Востоке и Южной Азии — 4–5% (табл. 12.5).

Возобновляемые водные ресурсы континентов, полученные путем суммирования местных водных ресурсов регионов, представлены в сводной табл. 12.4 и на рис. 12.4.

По новым данным, суммарная величина возобновляемых водных ресурсов мира, рассчитанная за период с 1921 по 1985 г., оценена в 42 800 км³/год (без Антарктиды). Это примерно на 5000 км³ боль-

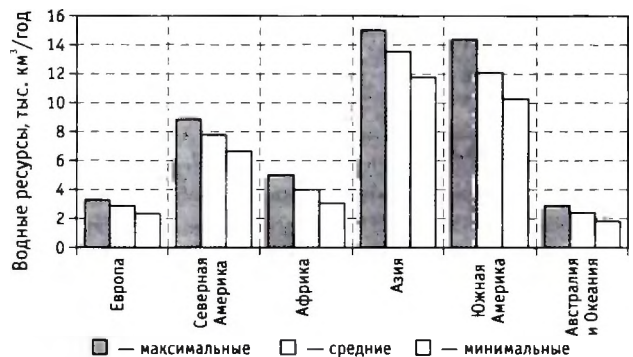


Рис. 12.4. Возобновляемые водные ресурсы континентов

Возобновляемые водные ресурсы и потенциальная водообеспеченность природно-экономических регионов мира

№ региона	Континент, регион	Площадь, млн. км ²	Население в млн 1994	Водные ресурсы, км ³ /год		Потенциальная водообеспеченность*		
				Приток	Местные		территории, мм слоя	населения, в 10 ³ м ³ /год на 1 жителя
					Среднее	C _v		
Европа		10,46	684,7		2900	0,08	277	4,24
1	Северная	1,32	23,2		705	0,08	534	30,4
2	Центральная	1,86	293	6	617	0,21	332	2,12
3	Южная	1,79	188	109	546	0,18	305	3,19
4	Север ЕТ быв. СССР	2,71	28,5	27	589	0,10	217	21,1
5	Юг ЕТ быв. СССР	2,78	152	123	443	0,18	159	3,32
Северная Америка		24,3	453		7890	0,06	325	17,4
6	Канада и Аляска	13,67	29	130	4980	0,06	364	174
7	США	7,84	261	70	1800	0,17	230	7,03
8	Центр. Америка и Карибы	2,74	163	2,5	1110	0,10	405	6,82
Африка		30,1	708		4050	0,10	135	5,72
9	Северная	8,78	157	140	41	0,34	4,67	0,71
10	Южная	5,11	83,5	86	399	0,14	78,1	5,29
11	Восточная	5,17	193,5	26	749	0,11	145	3,94
12	Западная	6,96	211,3	30	1088	0,28	156	5,22
13	Центральная	4,08	62,8	80	1770	0,09	434	28,8
Азия		43,5	3445		13510	0,06	311	3,92
14	Северный Китай и Монголия	8,29	482		1029	0,23	124	2,13
15	Южная	4,49	1214	300	1988	0,10	443	1,76
16	Западная	6,82	232		490	0,35	71,8	2,11
17	Юго-Западная	6,95	1404	120	6646	0,09	956	4,78
18	Центр. Азия и Казахстан	3,99	54	46	181	0,17	45,4	3,78
19	Сибирь и Дальний Восток	12,76	42	218	3107	0,06	243	76,6
20	Закавказье	0,19	16	12,1	68	0,12	358	4,63
Южная Америка		17,9	314,5		12030	0,07	672	38,3
21	Северная	2,55	57,3		3340	0,15	1310	58,3
22	Восточная	8,51	159,1	1900	6220	0,08	731	45,1
23	Западная	2,33	48,6		1720	0,18	738	35,4
24	Центральная	4,46	49,4	720	750	0,17	168	22,5
Австралия и Океания		8,95	28,7		2404	0,10	269	83,8
25	Австралия	7,68	17,9		352	0,24	45,8	19,7
26	Океания	1,27	10,8		2050	0,10	1614	190
Всего (округленно)		135	5633		42780	0,03	317	7,60

Примечание. * Потенциальная водообеспеченность площади оценивается по средним местным водным ресурсам, а населения — по величине суммы средних местных водных ресурсов и половины притока.

ше величин, полученных (Baumgartner, Reihel, 1975) и на 1800 км³ меньше прежних, наиболее детальных оценок ГГИ (Корзун (ред.), 1974).

Если сравнить данные оценок водных ресурсов по отдельным континентам, то различия между

оценками ГГИ 1974 г. и современными более значительны и достигают 5–12%. Наибольшие различия имеют место для Африки и Азии, которые обусловлены, главным образом, использованием в настоящей работе более полных и надежных данных

Таблица 12.5

**Внутригодовое распределение речного стока по континентам и природно-экономическим регионам
(в % от среднегодового стока)**

№ региона	Континент, регион	Среднегод. вод. ресурсы (местные), км ³ /год	Месяц												Год	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Европа			2900	6,2	6,6	6,9	8,9	14,3	13,3	9,2	7,6	7,3	6,9	6,6	6,2	100
1	Северный	705	4,9	4,9	4,6	4,4	8,8	15	15,4	12,6	10,2	7,8	6,0	5,4	100	
2	Западный и Центральный	617	9,7	10,8	9,7	9,4	8,3	8,5	8,2	7,1	6,3	6,2	6,9	9,0	100	
3	Южный	546	7,6	8,0	9,5	11	11,5	10,7	9,0	7,1	6,0	5,7	6,4	7,5	100	
4	Север ЕТ бывшего СССР	589	3,0	2,5	3,0	6,5	25,8	19,7	8,9	6,2	6,5	7,8	6,0	4,1	100	
5	Юг ЕТ бывшего СССР	443	3,6	3,5	5,2	12,4	23,1	17,7	9,5	6,1	4,8	5,0	5,0	4,1	100	
Северная Америка			7890	4,7	4,9	5,0	7,0	11,6	15,2	12,6	9,9	9,6	8,6	5,9	5,0	100
6	Северный	4980	3,8	3,6	3,5	6,1	13,1	17,2	13,8	10,3	8,9	8,6	6,4	4,7	100	
7	Центральный	1800	7,7	9,4	10,3	12,1	12,1	11,5	8,6	5,8	5,2	5,1	5,7	6,5	100	
8	Южный	1110	3,6	2,7	2,2	2,4	4,8	12,8	13,8	14,6	19,8	14,9	4,8	3,6	100	
Африка			4047	8,4	7,5	7,0	7,1	7,5	6,6	6,1	6,1	8,0	10,6	12,7	12,4	100
9	Северный	41	4,5	3,7	3,4	3,6	3,9	4,2	8,7	22,6	20,9	12,4	6,8	5,3	100	
10	Южный	399	13,4	15,0	16,5	9,1	6,5	7,1	7,9	3,6	3,6	4,1	5,8	7,5	100	
11	Восток	749	4,1	6,2	10,3	18,2	17,2	11,4	6,3	6,3	5,8	5,5	3,9	4,8	100	
12	Запад	1088	2,7	2,2	2,0	1,9	2,0	2,2	6,2	18,3	24,4	21,3	11,4	5,4	100	
13	Центральный	1770	8,5	7,6	7,0	7,2	7,5	6,7	6,0	5,9	7,8	10,6	12,7	12,5	100	
Азия			13 510	5,1	4,1	4,7	5,1	8,8	13,7	14,9	13,8	11,2	7,2	6,8	4,6	100
14	Северный Китай и Монголия	1029	2,3	2,2	3,0	4,7	6,2	9,2	14,7	20,6	14,3	11,3	7,5	4,0	100	
15	Южный	1988	1,6	1,3	1,4	1,8	5,2	6,9	19,5	26,2	20,8	9,5	3,6	2,2	100	
16	Западный	490	7,5	7,8	13,1	16,4	20,5	10,1	5,3	3,7	3,2	3,6	4,0	5,0	100	
17	Юго-Восток	6646	8,0	7,0	7,2	7,4	7,7	7,9	11,3	10,4	9,2	6,9	10,2	6,8	100	
18	Центральная Азия и Казахстан	181	3,4	2,9	3,5	6,6	13,1	19,4	18,6	11,7	7,4	5,4	4,2	3,7	100	
19	Сибирь и Дальний Восток России	3107	2,0	1,7	1,9	1,8	13,0	31,0	18,8	11,4	8,6	5,8	2,0	2,0	100	
20	Закавказье	68	6,4	5,8	9,5	17,4	16,0	10,6	7,0	4,7	5,1	5,5	5,2	6,8	100	
Южная Америка			12 030	5,9	7,0	8,1	10,0	11,4	12,1	11,1	9,7	7,6	6,0	5,5	5,6	100
21	Северный	3340	4,2	3,0	2,5	3,1	6,2	10,2	13,5	15,3	14,7	11,8	9,0	6,5	100	
22	Восточный	6220	6,8	8,2	9,4	10,4	11,0	11,0	10,2	9,1	7,3	5,6	5,2	5,8	100	
23	Западный	1720	8,3	9,6	10,8	9,2	9,2	9,3	7,9	7,1	6,5	6,7	7,8	7,6	100	
24	Центральный	750	9,2	11,8	12,8	12,2	9,5	9,3	6,6	5,2	5,4	5,3	5,9	6,8	100	
Австралия и Океания			2400	10,3	13,2	12,4	10,1	7,4	7,1	6,2	6,9	5,4	6,6	7,2	7,2	100
25	Австралия	352	15,4	21,7	30,9	5,29	3,2	3,63	3,35	3,23	3,2	3,74	3,21	3,15	100	
26	Океания	2050	9,52	12,0	9,35	11,1	8,15	7,72	6,7	6,4	5,75	7,02	7,87	7,9	100	

по слабо изученным в гидрологическом отношении регионам Западной и Центральной Африки, Юго-Восточной Азии. Вторая причина — несколько пониженный сток рек в последние два десятилетия рассматриваемого периода, особенно заметный для Африки, Азии, Европы. Это хорошо видно на хронологических графиках колебаний суммарного годового стока рек по континентам, представленных на рис. 12.5.

Исследования многолетних колебаний стока рек различных регионов Земного шара неизменно указывают на их циклический характер. То же самое относится к колебаниям суммарного стока континентов и Земли в целом, представленным на рис. 12.5, где можно обнаружить циклы многоводных и маловодных лет, сменяющие друг друга и различающиеся по продолжительности и величинам отклонения от среднего значения. В колебани-

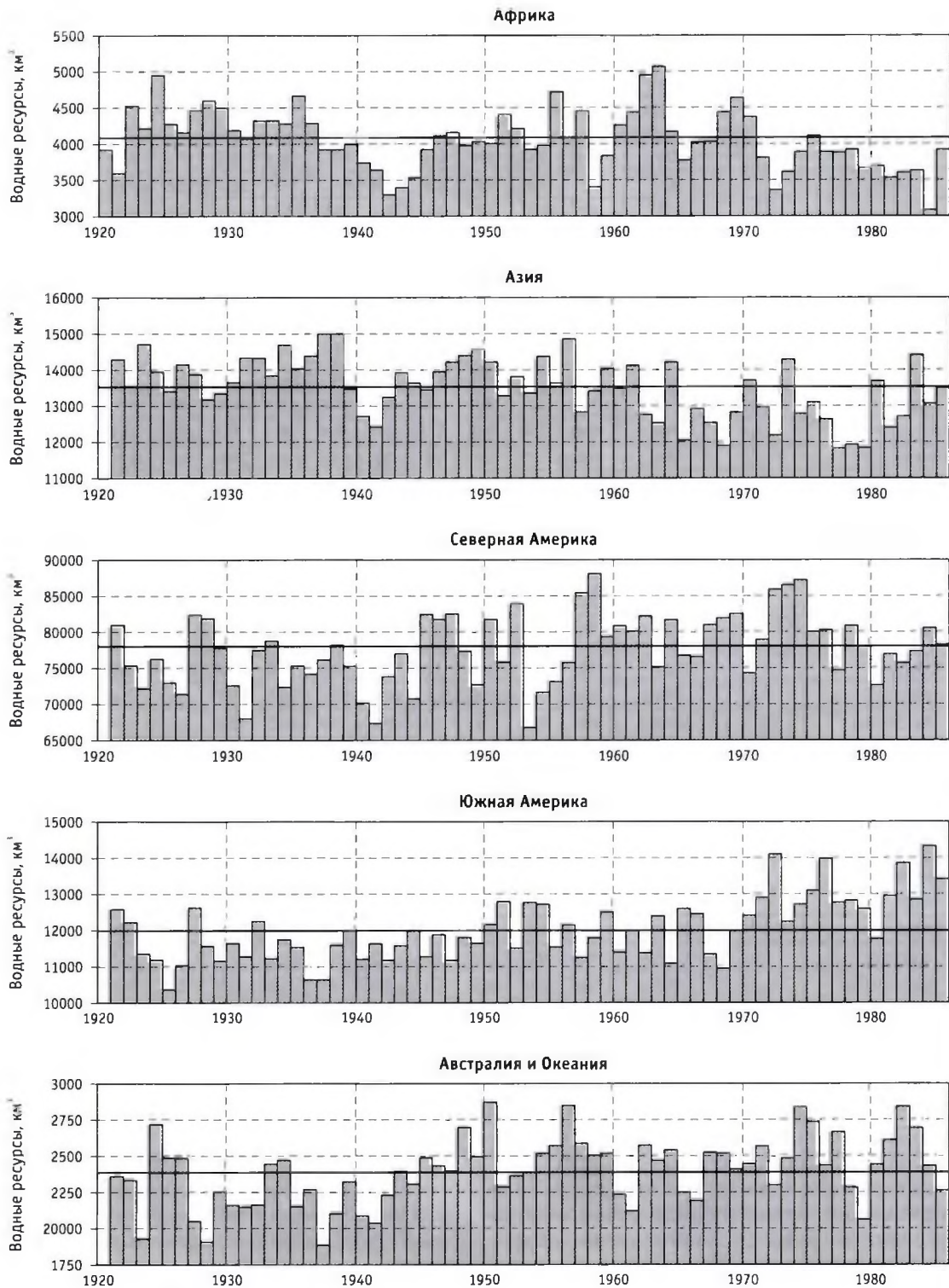


Рис. 12.5. Динамика возобновляемых водных ресурсов мира и континентов (км³/год)

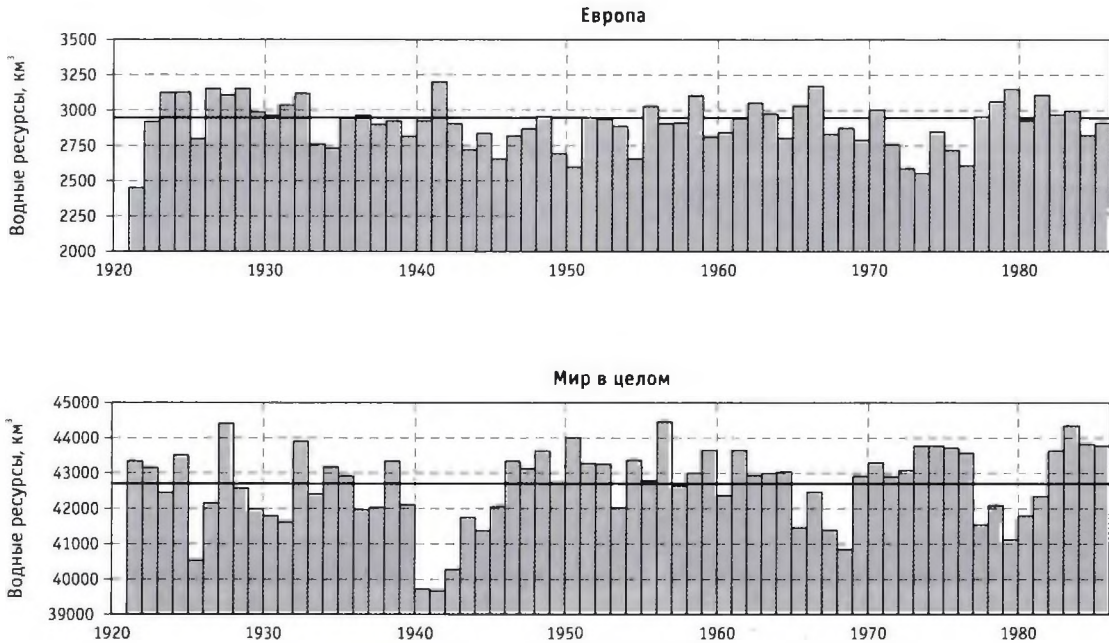


Рис. 12.5. Окончание

ях суммарного стока рек мира, например, можно выделить периоды пониженной водности (1940–1944, 1965–1968, 1977–1979 гг.), когда величины стока были ниже среднего значения на 1600–2900 км³; а периоды 1926–1927, 1949–1952, 1973–1975 гг. отличались существенно повышенным стоком.

Наряду с циклическим характером колебаний суммарного стока рек мира, характерным является отсутствие какой-либо четко выраженной тенденции изменений за весь рассматриваемый 65-летний период. В общем, это характерно и для большинства континентов; но достаточно явно выражено повышение стока рек Южной Америки за последние два десятилетия и уменьшение суммарного стока африканских рек за тот же период (см. рис. 12.5).

Изменения возобновляемых водных ресурсов континентов по месяцам внутри года представлено в табл. 12.5 и на рис. 12.6. Сравнение этих данных с оценками ГГИ 1974 г. (Корзун (ред.), 1974) дает по большинству континентов, близкие результаты, за исключением Африки, для которой привлечение новых материалов по стоку крупных рек существенно изменило картину внутригодового распределения суммарного речного стока континента.

В соответствии с современными оценками основная часть стока в Европе проходит в течение апреля–июля (46%), в Азии — июня–сентября

(54%), в Африке — сентября–декабря (44%), в Северной Америке — мая–августа (49%), в Южной Америке — апреля–июля (45%), в Австралии и Океании — января–апреля (46%). В целом для всей суши многоводный сезон продолжается с мая по август. За этот сезон суммарный сток рек Земного шара составляет примерно 45% от годового.

Ввиду значительных колебаний речного стока по месяцам и сезонам года, возникают значительные трудности его хозяйственного использования в маловодные сезоны. Поэтому наибольшую ценность для водообеспечения имеет устойчивый, маломеняющийся базисный сток, полное использование которого возможно без регулирования.

Приведенные выше величины возобновляемых водных ресурсов регионов и континентов (табл. 12.4), оценены только по суммарному стоку рек и не учитывают возобновляемые подземные воды, гидравлически не связанные с речным стоком.

Дать надежную количественную оценку такого рода подземных вод для всех регионов мира — задача чрезвычайно сложная и до настоящего времени практически невыполнимая из-за отсутствия необходимых данных. Тем не менее для отдельных регионов и стран такие оценки выполнены, и они позволяют сделать некоторые обобщения для различных физико-географических условий и в глобальном масштабе.

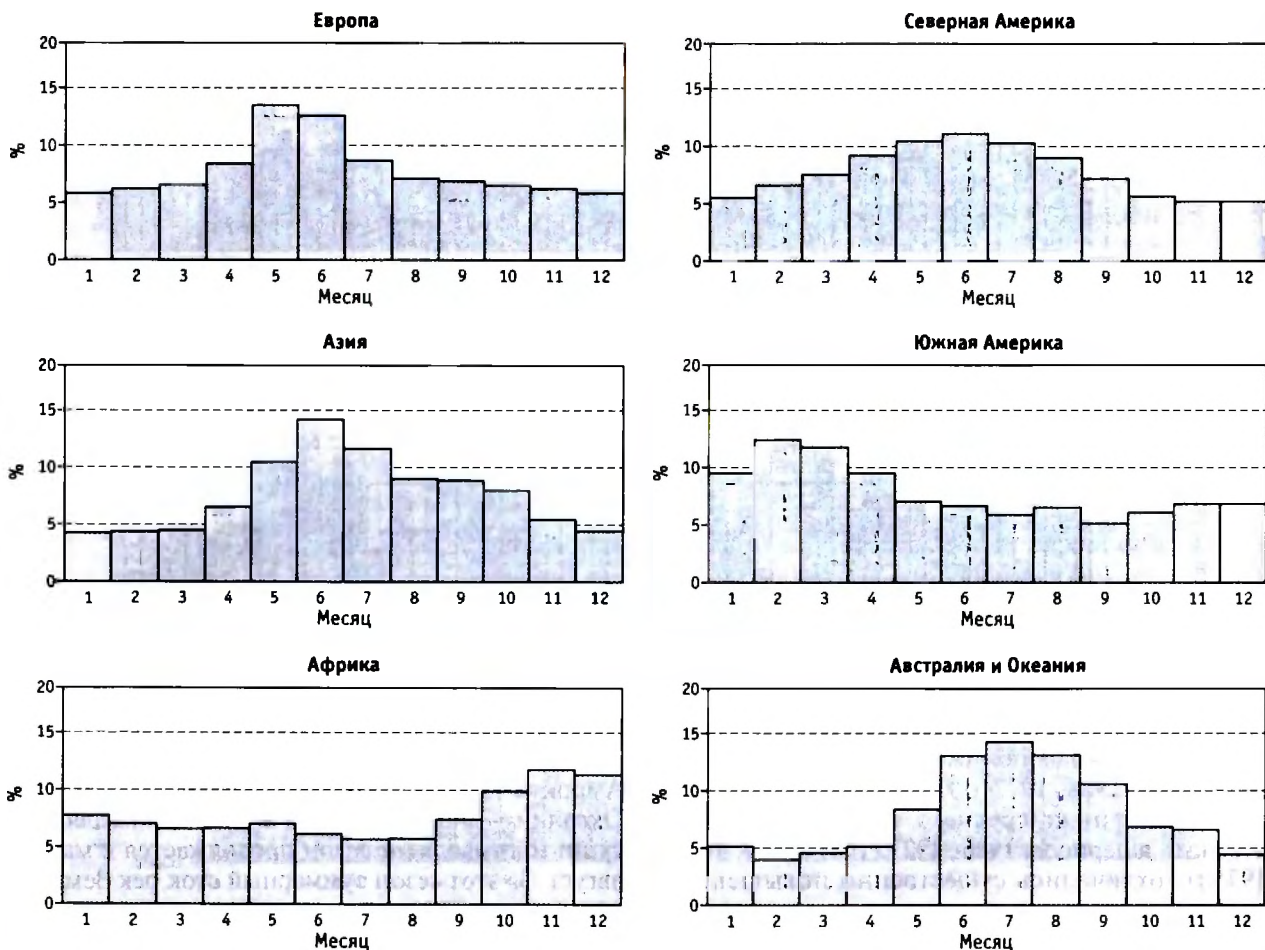


Рис. 12.6. Внутригодовое распределение ресурсов континентов

В частности, наиболее детальная оценка возобновляемых водных ресурсов, включая речной сток и подземные воды, не связанные с ним, выполнена в 1995 г. ФАО для всех стран Африканского континента, где аридные и семиаридные районы занимают более половины территории (FAO, 1995). По данным ФАО, суммарный объем возобновляемых ресурсов подземных вод, не связанных со стоком рек, составляет в целом для континента 188 км³/год, или всего 5% от объема речного стока. Однако для отдельных стран континента, расположенных в аридных районах (например, Египет, Ливия, Тунис, Марокко и др.) эти величины играют очень большую роль в общем объеме возобновляемых водных ресурсов, и они должны учитываться при их оценке.

Приведенный пример для Африки дает основание полагать, что аналогичные соотношения характерны и для других континентов.

Таким образом, при оценке возобновляемых водных ресурсов в глобальном масштабе, т. е. для континентов, крупных природно-экономических регионов, стран и речных систем вполне можно пренебречь величинами возобновляемых водных ресурсов подземных вод, не связанных со стоком рек. Исключение составляют небольшие страны, расположенные в аридных районах со слабо развитой гидрографической сетью. К ним, прежде всего, относятся страны, расположенные на севере Африканского континента и на Аравийском полуострове. Для этих стран величины возобновляемых ресурсов подземных вод играют очень большую роль в общем объеме возобновляемых водных ресурсов и могут даже превышать (для некоторых стран во много раз) суммарный объем речного стока.

Таблица 12.6

12.4.4. Водные ресурсы водохранилищ

Водоохранилищами обычно принято считать искусственно созданные водоемы с замедленным водообменом и полным объемом более 1 млн м³ (> 0,001 км³), уровеньный режим которых постоянно регулируется гидротехническими сооружениями в целях накопления воды и последующего ее использования для удовлетворения самых различных хозяйственных и социальных потребностей. Следует отметить, что величина 1 млн м³ является весьма условной и необщепринятой во всех странах мира. Например, в США водохранилищами считаются водоемы, полезная емкость которых превышает 5 тыс. акрофутов (6,17 млн м³). Водоемы, имеющие меньший полезный объем, называются прудами. Однако, в большинстве стран мира, включая страны бывшего СССР и Западной Европы, к водохранилищам относят водоемы емкостью более 1 млн м³.

В современном мире эксплуатируется огромное количество водохранилищ (по некоторым экспертным оценкам, не менее 40 тыс.). Они чрезвычайно разнообразны по способу их образования, по величине, по характеру регулирования, по географическому положению, конфигурации, характеру водообмена, по гидрологическим и гидробиологическим показателям и т. п. В соответствии с этим существует достаточно много классификаций и типизаций водохранилищ по отдельным признакам, критериям или параметрам.

Для оценки водных ресурсов водохранилищ и их влияния на суммарные величины водопотребления основное значение имеют такие характеристики, как объем водохранилища и площадь водной

Классификация водохранилищ по объему и площади водной поверхности

Категория водохранилищ	Полный объем, км ³	Площадь водной поверхности, км ²
Крупнейшие	более 50	более 5000
Очень крупные	50–10	5000–500
Крупные	10–1	500–100
Средние	1–0.1	100–20
Небольшие	— 0,01	20–2
Малые	менее 0,01	менее 2

поверхности. В табл. 12.6 приведена наиболее распространенная классификация по этим показателям (Авакян, Шарилов, 1947), которая основана на анализе обширных материалов по водохранилищам мира.

В этой классификации величины объема и площади приводятся при отметках НПУ, при этом для озер-водохранилищ указанные характеристики не включают объем и площадь озера в естественных условиях.

По данным указанных авторов средние, небольшие и малые водохранилища составляют 94% от общего числа всех водохранилищ мира.

На основе этой классификации в ГГИ была подготовлена База данных по водохранилищам с объемом более 0,1 км³, которая содержит данные по 811 водохранилищам 113 стран мира. При этом водохранилища с объемом более 0,1 км³ составляют 96% и с объемом более 1 км³ — 71%. В основном, в Базе данных содержится информация о больших, очень больших и крупнейших водохранилищах. К сожалению, только 66% водохранилищ Базы имеют данные по площади водного зеркала и только 27% — по полезному объему, а именно эти характеристики необходимы для анализа роли водохра-

Таблица 12.7

Основная информация о количестве стран и водохранилищ в Базе данных ГГИ

Континент	Количество стран	Количество водохранилищ			Количество водохранилищ, по которым имеются данные	
		общее	с объемом		По полезному объему	По площади водной поверхности
			> 0,1 км ³	> 1 км ³		
Европа	29	134	126	75	58	119
Северная Америка	12	234	231	183	69	137
Африка	24	57	56	43	17	49
Азия	31	245	231	170	53	143
Южная Америка	12	111	106	82	21	65
Австралия и Океания	5	30	29	21	2	26
Мир в целом	113	811	779	574	220	539
%		100	96	71	27	66

нилиш в регулировании и использовании воды. Этот недостаток информации объясняется отсутствием таких данных в имеющихся публикациях и национальных обобщениях. Наибольшая информация имеется по водохранилищам 6 стран мира, которые имеют и наибольшие объемы регулирования стока — Россия, Канада, США, Китай, Индия, Бразилия. По этим странам содержатся данные по 428 (или 53%) водохранилищам. Информация Базы приведена по континентам и миру в табл. 12.7, а данные об объемах и площадях водной поверхности водохранилищ Базы по всем континентам — в табл. 12.8.

Следует отметить, что для подсчета величин суммарного полного и полезного объема водохранилищ для каждой страны, природно-экономических регионов и континентов использовались не только данные, приведенные в Базе данных. Дополнительно привлекалась обобщенная информация, имеющаяся в архивах ГГИ, а также представленная в различных национальных и международных публикациях по отдельным странам, регионам и в глобальном масштабе. Привлечение дополнительной информации было необходимо, поскольку База данных ГГИ содержит далеко не полные сведения по водохранилищам мира. Как было указано выше, в ней наиболее подробно представлены данные по водохранилищам с полным объемом более 1 км^3 (это крупные, очень крупные и крупнейшие водохранилища), и в меньшей степени по средним водохранилищам с объемом от $0,1$ до 1 км^3 . При этом очень мало данных по водохранилищам с объемом $< 1 \text{ км}^3$, построенных в последние 5–10 лет.

Данные по небольшим водохранилищам с объемом от $0,01$ до $0,1$ в Базе очень ограничены, а по малым ($< 0,01$) практически не представлены во-

обще. А именно небольшие и малые водохранилища (с объемом $< 0,01 \text{ км}^3$) по количеству составляют абсолютное большинство имеющихся в мире водохранилищ (примерно 75–80%). В целом по Земному шару суммарный объем таких водохранилищ невелик по сравнению с суммарным объемом воды, сосредоточенным в более крупных водохранилищах (примерно 4–5%), однако по отдельным странам и регионам это соотношение колеблется в очень больших пределах: от 2–3% — в странах, где имеются очень крупные и крупнейшие водохранилища, до 40–60% — в странах, где преобладают водохранилища с объемом $< 1 \text{ км}^3$ (Авакян, 1987). Например, в странах Западной Европы эти показатели составляют 35–56%, а в России и в Канаде — всего 2–3%.

По данным (Яцык, 2001), на Украине на уровень 1998 г. суммарный полный объем всех водохранилищ составлял $55,3 \text{ км}^3$ и площадь водной поверхности 9860 км^2 , в том числе водохранилища с объемом $< 1 \text{ км}^3$, не представленные в Базе, имели суммарный объем $8,5 \text{ км}^3$ (15,4%) и площадь водной поверхности — 2834 км^2 (28,7%).

Для того чтобы учесть эти обстоятельства, при расчетах вводились повышающие коэффициенты, которые были определены для каждой страны на основе использования имеющейся в ГГИ дополнительной информации и анализа многочисленных публикаций. Если в природно-экономических регионах имелись отдельные страны, для которых полностью отсутствовали данные по водохранилищам, то они принимались по аналогии с соседними странами, близкими по природным и социально-экономическим условиям.

Оценки полного и полезного объема водохранилищ для каждой страны и региона рассчитыва-

Таблица 12.8

Объемы и площади водной поверхности водохранилищ по континентам по данным Базы ГГИ

Континент	Все водохранилища			В том числе:						
	количество	объем, км^3	площадь (без озер), км^2	с объемом $> 1 \text{ км}^3$		с объемом $> 0,1 \text{ км}^3$			с объемом $< 0,1 \text{ км}^3$	
				количество	объем, км^3	количество	объем, км^3	площадь, км^2	количество	объем, км^3
Европа	134	516	45 520	75	488	126	515	45 480	8	0,40
Северная Америка	234	1407	86 280	183	1374	231	1406	86 260	3	0,14
Африка	57	910	40 970	43	903	56	910	40 960	1	0,04
Азия	245	1683	68 550	170	1645	231	1681	67 870	14	0,50
Южная Америка	111	902	52 160	82	885	106	902	52 150	5	0,25
Австралия и Океания	30	72,6	3708	21	67,7	29	72,5	5,0	1	0,10
Мир в целом	811	5491	297 200	574	5363	779	5489	292 700	32	1,43
%	100	100	100	71,0	97,7	96,0	99,96	98,48	3,8	0,026

лись в динамике за следующие многолетние периоды: до 1940 г., с 1941 по 1960 г., с 1961 по 1980 г. и с 1981 по 2000 г.

В соответствии с данными, приведенными на рис. 12.7, суммарный полный объем водохранилищ в мире на 2000 г. составил 6370 км^3 (без площади подтопленных озер). При этом наибольший прирост объема водохранилищ мира (3200 км^3 или более 50%) был достигнут в период с 1961 по 1980 г.: в течение последних 20 лет темпы сооружения водохранилищ резко уменьшились, и прирост объема составил всего 1530 км^3 . За период с 1941 по 1981 г. были построены водохранилища с суммарным объемом около 4500 км^3 , что составляет 70% всего современного объема водохранилищ мира (рис. 12.7).

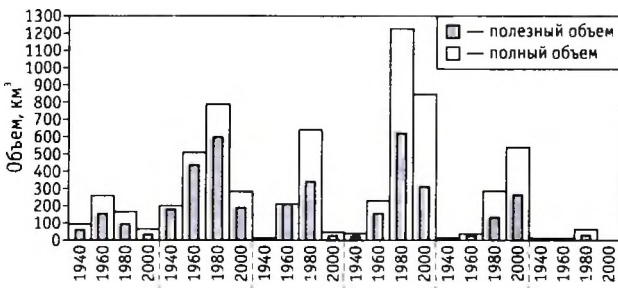


Рис. 12.7. Приращение полного и полезного объемов водохранилищ по континентам за периоды до 1940 г., 1941–1960, 1961–1980, 1981–2000 гг.

Динамика сооружения водохранилищ существенно различается по континентам. В Европе максимальный прирост суммарных объемов водохранилищ имел место в период 1941–1960 гг., в Северной Америке, Африке, Азии и Австралии это произошло в течение 1961–1980 гг., а в Южной Америке — после 1980 г. (см. рис. 12.7).

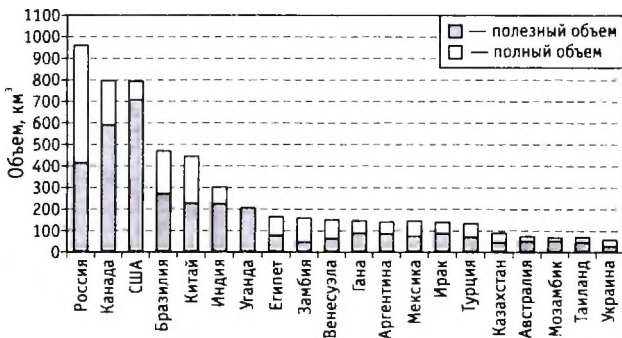


Рис. 12.8. Страны с наибольшими объемами водохранилищ

Распределение водохранилищ по странам мира крайне неравномерно. На рис. 12.8 приведены в убывающем порядке 20 стран, имеющих наибольшие объемы водохранилищ (от 800 км^3 до 50 км^3).

Наибольшим полным объемом водохранилищ — около 800 км^3 — обладают Россия, США и Канада; однако по суммарному полезному объему водохранилищ США и Канада значительно опережают Россию; США имеют самый большой в мире полезный объем водохранилищ, который оценивается примерно в 700 км^3 .

Самыми большими водохранилищами в мире по объему являются озеро-водохранилище Оуэн-Фолс (оз. Виктория в бассейне р. Нил) в Уганде (205 км^3) и Братское на р. Ангара в России (169 км^3); по площади водного зеркала — Вольта в Гане (8500 км^2) и Куйбышевское в России (6500 км^2). Всего в мире построено семь водохранилищ с полным объемом более 100 км^3 , из них четыре находятся в Африке, среди которых одно самое большое в мире по объему, а другое по площади водной поверхности. Более 60 водохранилищ в мире имеют объем, превышающий 20 км^3 , и они построены во многих странах на всех континентах (кроме Австралии). В странах Европы наибольшие объемы и площади, занятые водохранилищами (помимо России), имеются в Украине, Испании, Норвегии, Швеции и Финляндии.

Результаты оценки полного и полезного объема водохранилищ на рассчитанные уровни 1940, 1960, 1980 и 2000 гг. и их отношения к величинам возобновляемых водных ресурсов (или коэффициент регулирования) представлены в табл. 12.9 для всех природно-экономических регионов и континентов. Величины полного и полезного объема водохранилищ приведены в таблицах в двух вариантах: по отношению к суммарным и местным водным ресурсам. При этом, следует отметить, что величины полезного объема водохранилищ для большинства стран мира оценены весьма приближенно, поскольку, как в Базе данных ГГИ, так и во многих обобщающих публикациях, такие данные для многих стран мира практически отсутствуют. Указанные величины (при их отсутствии в Базе данных) ориентировочно оценивались нами по аналогии с имеющимися данными по отдельным водохранилищам, группам водохранилищ или странам, а также на основании анализа различных публикаций и экспертных оценок. Полученные таким образом ориентировочные величины приведены в таблице в скобках.

Возобновляемые водные ресурсы и объемы водохранилищ по континентам и природно-экономическим регионам мира за различные периоды

№ региона	Регион, континент	Площадь, млн км ²	Возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год			C _v	Расчетный уровень	Объем водохранилищ, км ³		Отношение полного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)		Отношение полезного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)	
			местные	приток	общие			полный	полезный	местным	общим	местным	общим
Европа													
1	Северный	1,32	705		705	0,08	1940	22,7	(18)	3,2	3,2	(2,5)	(2,5)
							1960	41,9	(34)	5,9	5,9	(4,8)	(4,8)
							1980	57,4	(42)	8,1	8,1	(5,9)	(5,9)
							2000	68,3	(45)	9,7	9,7	(6,4)	(6,4)
2	Центральный	1,86	617	6	623	0,21	1940	18,0	(13)	2,9	2,9	(2,1)	(2,1)
							1960	26,0	(20)	4,2	4,2	(3,2)	(3,2)
							1980	41,0	(29)	6,6	6,6	(4,7)	(4,7)
							2000	49,0	(35)	7,9	7,9	(5,7)	(5,7)
3	Южный	1,79	546	109	655	0,18	1940	16,0	(12)	2,9	2,4	(2,2)	(1,8)
							1960	42,0	(32)	7,7	6,4	(5,8)	(4,9)
							1980	92,0	(70)	16,8	14,0	(12,8)	(10,7)
							2000	100	(76)	18,3	15,3	(13,9)	(11,6)
4	Север ЕТР бывшего СССР	2,71	589	27,0	616	0,10	1940	30,3	16	5,1	4,9	2,6	2,5
							1960	63,1	40	10,7	10,2	6,7	6,4
							1980	93,6	55	15,9	15,2	9,3	8,9
							2000	97,4	56	16,5	15,8	9,6	9,2
5	Юг ЕТР бывшего СССР	2,78	443	123	566	0,18	1940	6,4	2	1,4	1,1	0,5	0,4
							1960	186	92	42,1	33,0	20,7	16,2
							1980	243	115	55,0	43,0	25,9	20,3
							2000	276	129	62,3	48,8	29,1	22,8
Европа в целом		10,5	2900		2900	0,08	1940	93,4	(60)	3,2	3,2	(2,1)	(2,1)
							1960	359	(217)	12,4	12,4	(7,5)	(7,5)
							1980	527	(311)	18,2	18,2	(10,7)	(10,7)
							2000	591	(341)	20,4	20,4	(11,8)	(11,8)
Северная и Центральная Америка													
6	Канада и Аляска	13,7	4980	130	5110	0,06	1940	38,0	(36)	0,76	0,74	(0,7)	(0,7)
							1960	238	(206)	4,8	4,7	(4,1)	(4,0)
							1980	576	(442)	11,6	11,3	(8,9)	(8,6)
							2000	801	(587)	16,1	15,7	(11,8)	(11,5)
7	США	7,84	1800	70	1870	0,17	1940	152	137	8,4	8,1	7,6	7,3
							1960	436	390	24,2	23,3	21,7	20,8
							1980	780	700	43,3	41,7	38,9	37,4
							2000	796	714	44,2	42,6	39,7	38,2
8	Центральная Америка, Страны Карибского бассейна	2,74	1110	2,5	1113	0,10	1940	12,0	(6)	1,1	1,1	(0,5)	(0,5)
							1960	42,0	(22)	3,8	3,8	(2,0)	(2,0)
							1980	152	(77)	13,7	13,7	(6,9)	(6,9)
							2000	199	(106)	17,9	17,9	(9,5)	(9,5)
Северная и Центральная Америка в целом		24,3	7890		7890	0,06	1940	202	(179)	2,6	2,6	(2,3)	(2,3)
							1960	716	(618)	9,1	9,1	(7,8)	(7,8)
							1980	1508	(1219)	19,1	19,1	(15,4)	(15,4)
							2000	1796	(1407)	23,0	23,0	(17,8)	(17,8)

Продолжение табл. 12.9

№ регио-на	Регион, континент	Пло-щадь, млн км ²	Возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год			C _v	Расчетный уровень	Объем водохрани-лищ, км ³		Отношение полного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)		Отношение полезного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)	
			мест-ные	приток	общие			полный	полезный	местным	общим	местным	общим
Африка													
9	Северная	8,78	41	140	181	0,34	1940	10,4	(5)	25,4	5,7	(11,2)	(2,5)
							1960	12,2	(6)	29,8	6,7	(13,4)	(3,0)
							1980	190	(92)	464	105	(225)	(51,1)
							2000	192	(93)	467	106	(227)	(51,4)
10	Южная	5,11	399	86	485	0,14	1940	2,9	(2)	0,7	0,6	(0,6)	(0,5)
							1960	5,8	(5)	1,4	1,2	(1,2)	(0,9)
							1980	248	(110)	62,2	51,2	(27,6)	(22,7)
							2000	263	(114)	66,0	54,3	(28,6)	(23,5)
11	Восточная	5,17	749	26	775	0,11	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	205	(205)	27,4	26,5	(27,3)	(26,5)
							1980	211	(210)	28,2	27,2	(28,0)	(27,1)
							2000	215	(212)	28,6	27,7	(28,3)	(27,4)
12	Западная	6,96	1088	30	1118	0,28	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	0,9	(1)	0,08	0,08	(0,06)	(0,05)
							1980	204	(136)	18,7	18,2	(12,5)	(12,1)
							2000	230	(156)	21,1	20,6	(14,3)	(13,9)
13	Центральная	4,08	1770	80	1850	0,09	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	3,0	(3)	0,17	0,16	(0,2)	(0,2)
							1980	18,3	(13)	1,0	1,0	(0,8)	(0,7)
							2000	19,3	(14)	1,1	1,0	(0,8)	(0,8)
Африка в целом		30,1	4050		4050	0,10	1940	13,3	(7)	0,3	0,3	(0,17)	(0,17)
							1960	227	(219)	5,6	5,6	(5,4)	(5,4)
							1980	872	(562)	21,5	21,5	(13,9)	(13,9)
							2000	919	(589)	22,7	22,7	(14,5)	(14,5)
Азия													
14	Северный Китай и Мон-голия	8,29	1029		1029	0,23	1940	16,0	(8)	1,6	1,6	(0,8)	(0,8)
							1960	77,0	(41)	7,5	7,5	(4,0)	(4,0)
							1980	259	(132)	25,2	25,2	(12,8)	(12,8)
							2000	339	(176)	33,0	33,0	(17,1)	(17,1)
15	Южная	4,49	1988	300	2288	0,10	1940	9,0	(6)	0,45	0,39	(0,33)	(0,28)
							1960	49,0	(37)	2,5	2,1	(1,9)	(1,6)
							1980	227	(168)	11,4	9,9	(8,5)	(7,3)
							2000	334	(248)	16,8	14,6	(12,5)	(10,8)
16	Западная	6,82	490		490	0,35	1940	3,5	(2)	0,71	0,71	(0,47)	(0,47)
							1960	22,2	(12)	4,5	4,5	(2,5)	(2,5)
							1980	200	(118)	40,8	40,8	(24,0)	(24,0)
							2000	312	(186)	64,0	64,0	(38,0)	(38,0)
17	Юго-восточ-ная	6,95	6646	120	6766	0,09	1940	6,5	(3)	0,1	0,1	(0,05)	(0,04)
							1960	35,5	(20)	0,53	0,52	(0,3)	(0,3)
							1980	157	(91)	2,4	2,3	(1,4)	(1,3)
							2000	273	(157)	4,1	4,0	(2,4)	(2,3)

№ региона	Регион, континент	Площадь, млн км ²	Возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год			C _v	Расчетный уровень	Объем водохранилищ, км ³		Отношение полного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)		Отношение полезного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)	
			местные	приток	общие			полный	полезный	местным	общим	местным	общим
18	Центральная Азия и Казахстан	3,99	181	46	227	0,17	1940	1,6	1	0,9	0,7	0,33	0,26
							1960	10,5	6	5,8	4,6	3,3	2,6
							1980	132	70	72,9	58,1	38,7	30,8
							2000	160	87	88,4	70,5	48,0	38,3
19	Сибирь и Дальний Восток	12,76	3107	218	3325	0,06	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	56,4	51	1,8	1,7	1,6	1,5
							1980	499	210	16,1	16,1	6,7	6,3
							2000	635	251	20,4	20,4	8,1	7,5
20	Закавказье	0,19	68	12,1	80,1	0,12	1940	0,5	(0)	0,73	0,62	(0,44)	(0,37)
							1960	20,5	(10)	30,1	25,6	(14,7)	(12,5)
							1980	30,0	(14)	44,1	37,5	(20,6)	(17,5)
							2000	32,0	(15)	47,1	40,0	(22,0)	(18,7)
Азия в целом		43,5	13510		13510	0,06	1940	37,0	(21)	0,27	0,27	(0,15)	(0,15)
							1960	271	(177)	2,0	2,0	(1,3)	(1,3)
							1980	1504	(803)	11,0	11,0	(5,90)	(5,9)
							2000	2085	(1120)	15,4	15,4	(8,3)	(8,3)
Южная Америка													
21	Северная	2,55	3340		3340	0,15	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	1,84	(1)	0,06	0,055	(0,03)	(0,027)
							1980	20,1	(11)	0,6	0,6	(0,3)	(0,3)
							2000	196	(89)	5,9	5,9	(2,7)	(2,7)
22	Восточная	8,51	6220	1900	8120	0,08	1940	8,3	(5)	0,13	0,1	(0,07)	(0,056)
							1960	31,3	(25)	0,5	0,38	(0,4)	(0,3)
							1980	186	(120)	3,0	2,3	(1,9)	(1,47)
							2000	474	(272)	7,6	5,8	(4,4)	(3,3)
23	Западная	2,33	1720		1720	0,18	1940	0	0	0	0	0	0
							1960	2,4	(1)	0,14	0,14	(0,07)	(0,07)
							1980	8,8	(6)	0,51	0,51	(0,37)	(0,37)
							2000	19,4	(12)	1,1	1,1	(0,7)	(0,7)
24	Центральная	4,46	750	720	1470	0,17	1940	0,56	(0)	0,07	0,02	(0,02)	(0,01)
							1960	9,36	(5)	1,2	0,64	(0,7)	(0,35)
							1980	122	(29)	16,2	8,3	(3,9)	(2,0)
							2000	192	(62)	26,6	13,1	(8,2)	(4,2)
Южная Америка в целом		17,9	12030		12030	0,07	1940	8,9	(5)	0,07	0,07	(0,04)	(0,04)
							1960	44,9	(32)	0,37	0,37	(0,26)	(0,26)
							1980	336	(166)	2,8	2,8	(1,4)	(1,4)
							2000	882	(436)	7,3	7,3	(3,6)	(3,6)
Австралия и Океания													
25	Австралия	7,68	352		352	0,24	1940	7,4	(3)	2,1	2,1	(0,9)	(0,9)
							1960	18,7	(8)	5,3	5,3	(2,3)	(2,3)
							1980	69,2	(40)	19,6	19,6	(11,3)	(11,3)
							2000	73,2	(50)	20,8	20,8	(14,2)	(14,2)
26	Океания	1,27	2050		2050	0,10	1940	1,9	(1)	0,09	0,09	(0,04)	(0,04)
							1960	5,1	(2)	0,25	0,25	(0,1)	(0,1)

Окончание табл. 12.9

№ региона	Регион, континент	Площадь, млн км ²	Возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год			C _y	Расчетный уровень	Объем водохранилищ, км ³		Отношение полного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)		Отношение полезного объема водохранилищ к водным ресурсам (%)	
			местные	приток	общие			полный	полезный	местным	общим	местным	общим
26	Океания	1,27	2050		2050	0,10	1980	20,8	(9)	1,0	1,0	(0,43)	(0,43)
							2000	21,8	(9)	1,1	1,1	(0,45)	(0,45)
Австралия и Океания в целом		8,95	2404		2404	0,10	1940	9,3	(4)	0,4	0,4	(0,17)	(0,17)
							1960	23,8	(10)	1,0	1,0	(0,4)	(0,4)
							1980	90,0	(40)	3,7	3,7	(1,66)	(1,66)
							2000	95,0	(59)	3,9	3,9	(2,5)	(2,5)
Мир в целом		135	42 780		42 780	0,03	1940	364	(276)	0,85	0,85	0,65	0,65
							1960	1642	(1273)	3,84	3,84	2,98	2,98
							1980	4837	(3101)	11,3	11,3	7,25	7,25
							2000	6368	(3952)	14,9	14,9	9,24	9,24

В соответствии с данными табл. 12.9, суммарный полный объем водохранилищ в мире на конец XX столетия составляет 6370 км³, или 14,9% от объема мировых возобновляемых водных ресурсов. По континентам коэффициент регулирования колеблется от 3,9% (Австралия и Океания) до 20–23% (Северная Америка, Африка и Европа). Суммарный полезный объем водохранилищ мира к 2000 г. оценивается ориентировочно в 3940 км³, что составляет 9,2% суммарных водных ресурсов; при этом колебания по континентам составляют от 2% (Австралия и Океания) до 17,8% (Северная Америка). Колебания коэффициента регулирования по природно-экономическим регионам мира, естественно, еще более значительны и составляют на современный уровень 1,0% (Центральная Африка, Запад Южной Америки и Океания) до 70–106% (Средняя Азия и Казахстан, Северная Африка) по величинам полного и от 0,5% до 38–51% полезного объема водохранилищ (табл. 12.9).

12.4.5. Водные ресурсы отдельных стран мира

Оценка возобновляемых водных ресурсов различных стран мира и особенно публикация полученных результатов — чрезвычайно сложная и ответственная работа, требующая тщательного анализа имеющейся исходной информации, учета особенностей физико-географических и социально-экономических условий, результатов национальных оценок и исследований в этой области.

В ГГИ была сделана попытка оценить возобновляемые водные ресурсы для довольно большого

числа избранных стран мира с определением их динамики во времени и изменчивости. Было выбрано 57 стран мира всех континентов. Среди выбранных стран — развитые и развивающиеся, страны с переходной экономикой, самые большие и малые по площади и населению, северные и южные, имеющие дефицит и избыток водных ресурсов. На территории этих стран формируется 77% мировых возобновляемых водных ресурсов и проживает примерно 70% всего населения Земли. Суммарный объем всех водохранилищ в этих странах равен примерно 6000 км³, или 94% от мирового объема.

В табл. 12.10 представлены величины возобновляемых водных ресурсов указанных стран с разделением на местные водные ресурсы и приток речных вод, коэффициенты изменчивости C_y местных водных ресурсов. Помимо этого в таблице для каждой страны приведены данные о суммарном полном и полезном объеме водохранилищ, а также отношения объемов водохранилищ (полного и полезного) к величинам местных и общих возобновляемых водных ресурсов. Эти отношения, как было указано выше, характеризуют степень регулирования водных ресурсов в каждой стране.

Приведенные в табл. 12.10 данные свидетельствуют о чрезвычайно неравномерном распределении возобновляемых водных ресурсов по странам мира. Наибольшими возобновляемыми водными ресурсами обладают шесть крупнейших стран мира: Бразилия, Россия, Канада, США, Китай и Индия.

На территории этих стран формируется более 40% суммарного годового стока рек мира; колебания их по годам за 1921–1985 гг. представлены на рис. 12.9. Для всех стран колебания водных ресурсов имеют четко выраженный циклический харак-

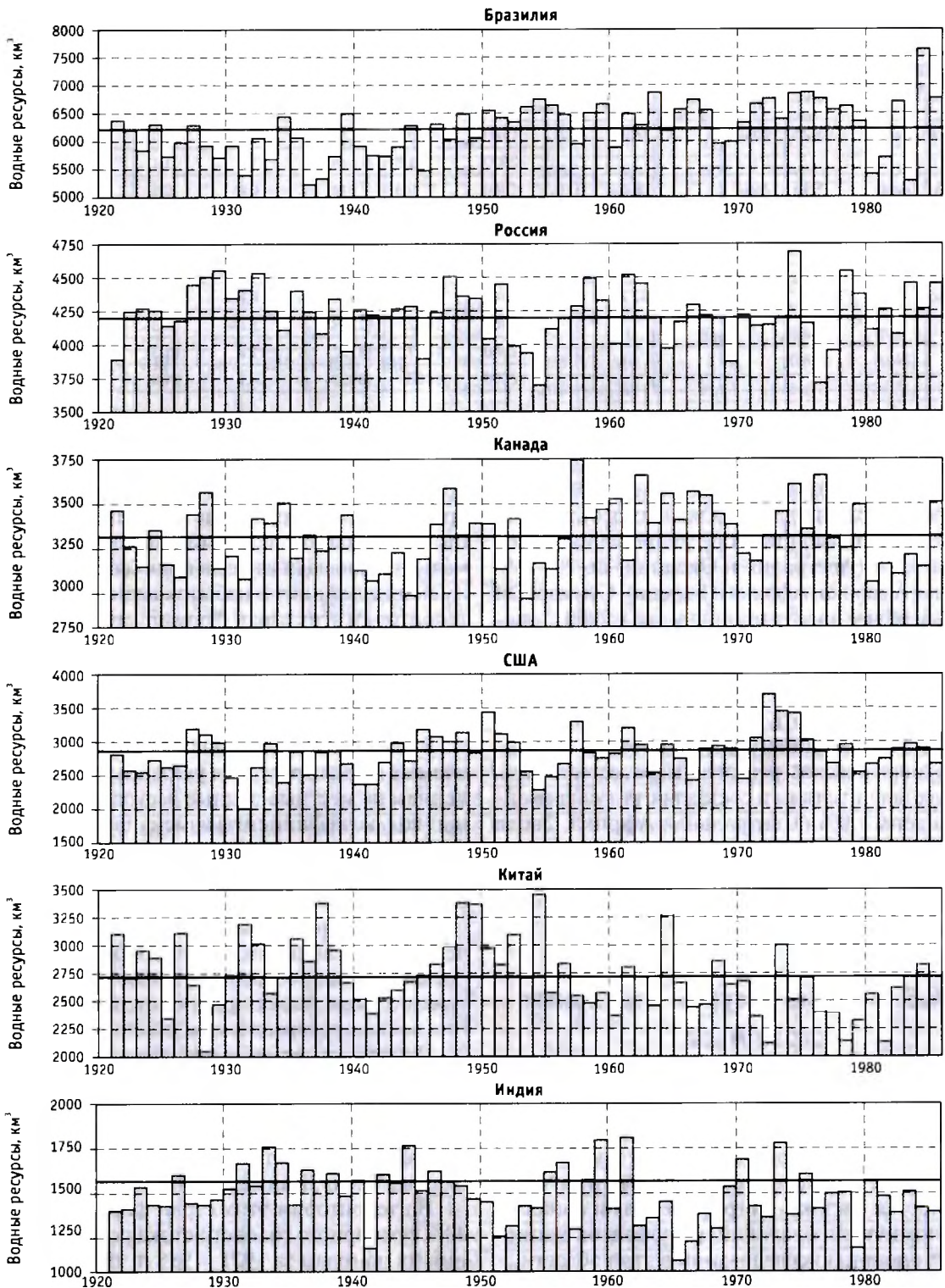


Рис. 12.9. Динамика водных ресурсов (в км³/год) стран мира, имеющих наибольшие объемы возобновляемых водных ресурсов

тер с чередованием многоводных и маловодных периодов различной продолжительности. Как следует из рисунка, для Бразилии и Канады за рассматриваемый период характерны наибольшие тренды увеличения, а для Индии и Китая — уменьшения возобновляемых водных ресурсов.

Очень неравномерно распределены и водохранилища по территории стран мира (табл. 12.10). Суммарный объем водохранилищ по странам находится в пределах от 2–4 км³ (Австрия, Швейцария, Заир) до 800 км³ (Россия, Канада, США); еще больший диапазон в степени регулирования суммарных водных ресурсов полезной емкостью водохранилищ — от 0,2–1% до 80–380%. Наибольшей степенью регулирования водных ресурсов обладают развивающиеся страны Африки, имеющие ограниченные водные ресурсы, и где построены ги-

гантские водохранилища (Уганда — 378%, Гана — 147%, Египет — 83%, Кот-де-Вуар — 42%, Замбия — 42%); высокой степенью регулирования характеризуются также страны Западной и Центральной Азии с ограниченными водными ресурсами и интенсивным их использованием (Ирак — 80%, Казахстан — 36%, Турция — 34%, Киргизстан — 29%). Менее всего зарегулированы водные ресурсы экономически слабо развитых стран, имеющих очень высокую природную водообеспеченность (Заир — 0,2%, Индонезия — 0,3%, Бангладеш — 0,4%).

В развитых индустриальных странах в зависимости от физико-географических, экологических и социально-экономических условий также довольно широкий диапазон степени регулирования водных ресурсов: от 2–5% (Австрия, Франция, Япо-

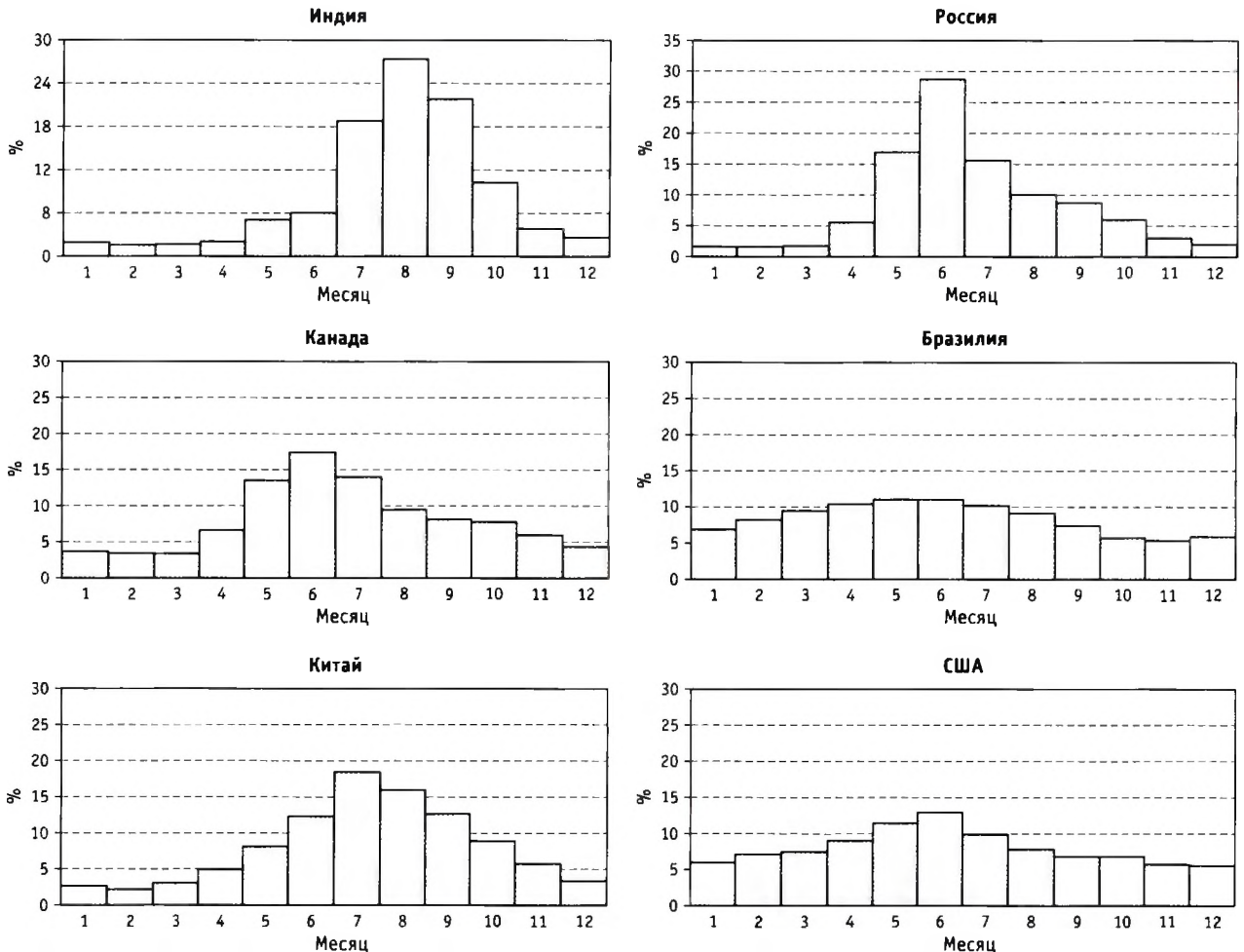


Рис. 12.10. Внутригодовое распределение водных ресурсов стран (в %), имеющих наибольшие объемы водных ресурсов

Возобновляемые водные ресурсы избранных стран мира и степень их регулирования

№	Страна	Площадь, тыс. км ²	Население, млн на 2000	Возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год			С.	Водообеспеченность		Объем водохранилищ, км ³		Отношение полного объема водохранилищ к водным ресурсам, %		Отношение полезного объема водохранилищ к водным ресурсам, %	
				местные	приток	суммарные		территории в м.сл.ю	населения, тыс. м ² /год на чел.	полный	полезный	местным	суммарным	местным	суммарным
Европа															
1	Австрия	84	8,10	60,2	32,0	92,2	0,15	717	9,4	2,5	(1,8)	4,1	2,7	(3,0)	(1,9)
2	Финляндия	340	5,20	109	3,0	112	0,20	321	21,3	21,1	(14,7)	19,4	18,8	(13,5)	(13,1)
3	Франция	550	59,2	168	27,0	195	0,23	305	3,10	12,0	(9,5)	7,1	6,1	(5,6)	(4,9)
4	Греция	130	10,7	47,0	13,0	60,0	0,32	362	5,0	11,5	(8,4)	24,5	19,2	(17,9)	(14,0)
5	Италия	300	57,8	160		160	0,27	533	2,8	10,2	(7,5)	6,4	6,4	(4,7)	(4,7)
6	Нидерланды	40	15,9	12,4	58,0	97,4	0,24	310	2,6	10,0	(6,9)	80,6	10,3	(55,6)	(7,1)
7	Норвегия	320	4,50	350	7,0	357	0,15	1094	78,5	25,0	(16,0)	7,1	7,0	(4,6)	(4,5)
8	Россия	17080	147	4053	222	4275	0,05	237	28,7	960	416	23,7	22,5	10,3	9,7
9	Испания	510	39,6	109		109	0,48	214	2,75	45,0	(35,0)	41,3	41,3	(32,1)	(32,1)
10	Швеция	450	8,90	164	3,6	168	0,17	364	18,6	21,0	(14,3)	12,8	12,5	(8,7)	(8,5)
11	Швейцария	40	7,20	40,0		40,0	0,14	1000	5,56	4,1	(3,0)	10,3	10,3	(7,5)	(7,5)
12	Украина	600	49,5	51,0	159	210	0,30	85,0	2,64	55,2	26,8	108	26,3	52,5	12,8
Северная и Центральная Америка															
13	Канада	9970	30,8	3290	130	3420	0,06	330	109	801	(587)	24,3	23,4	(17,8)	(17,1)
14	Коста-Рика	50	3,70	110		110	0,16	2200	29,7	16,8	(7,6)	15,3	15,3	(6,8)	(6,8)
15	Гондурас	110	6,35	93,0		93,0	0,14	845	14,6	9,4	(6,2)	10,1	10,1	(6,7)	(6,7)
16	Мексика	1960	99,6	345	2,5	348	0,12	176	3,48	145	74,0	42,0	41,7	21,4	21,3
17	США	9360	278	2900	148	3048	0,11	310	10,7	796	714	27,4	26,1	24,6	23,4
Африка															
18	Ангола	1250	12,4	150		150	0,26	120	12,1	8,9	(4,4)	5,9	5,9	(2,9)	(2,9)
19	Камерун	480	15,7	194	24,5	219	0,18	404	13,1	15,3	(10,4)	7,9	7,0	(5,4)	(4,7)
20	Кот-д'Ивуар	320	14,8	70,0	7,8	77,8	0,21	219	5,20	38,7	(32,5)	55,3	49,7	(46,4)	(41,8)
21	Египет	1000	68,4	0,5	91,8	92,3	0,40	0,5	0,68	162	(76,3)		175		(82,7)
22	Эфиопия	1220	62,6	116	0,9	117	0,24	95,1	1,86	2,55	(1,8)	2,2	2,2	(1,5)	(1,5)
23	Гана	240	19,8	38,6	22,0	61,0	0,20	161	2,50	148	(90,0)	383	243	(233)	(147)
24	Кения	580	29,3	60,0	5,5	65,5	0,34	103	2,14	5,63	(3,4)	9,4	8,6	(5,7)	(5,2)
25	Мали	1240	11,0	39,6	54,8	94,4	0,32	31,9	6,09	15,3	(13,4)	38,6	16,2	(33,8)	(14,2)
26	Мозамбик	800	19,3	57,0	127	184	0,24	71,3	6,24	66,8	(54,4)	117	36,3	(95,4)	(29,6)

27	Нигерия	920	120	275	43,7	319	0,26	299	2,47	25,1	(17,6)	9,1	7,8	(6,4)	(5,5)
28	Юж. Африка	1220	49,5	52,0	2,5	54,5	0,24	42,6	1,07	18,6	(9,1)	35,8	34,2	(17,5)	(16,7)
29	Судан	2500	30,4	25,0	140	165	0,31	10	3,12	17,2	(10,3)	68,8	10,4	(41,2)	(6,2)
30	Уганда	240	23,4	30,3	24,0	54,3	0,21	126	1,81	205	(205)		(378)		(378)
31	Заир	2340	42,6	989	313	1302	0,10	423	26,9	3,0	(2,9)	0,3	0,23	(0,29)	(0,22)
32	Замбия	750	9,80	94,0	15,3	109	0,35	125	10,4	160	(46,0)	170	147	(48,9)	(42,2)
Азия															
33	Бангладеш	140	130	225	1167	1390	0,14	1607	6,24	7,0	(4,8)	3,1	0,50	(2,2)	(0,35)
34	Китай	9600	1264	2700		2700	0,15	281	2,14	443	(223)	16,4	16,4	(8,3)	(8,3)
35	Индия	3290	1010	1456	581	2037	0,11	443	1,73	299	223	20,5	14,7	15,3	10,9
36	Индонезия	2027	209	2080		2080	0,12	1026	10,0	9,0	(6,3)	0,43	0,43	(0,30)	(0,30)
37	Иран	0,16	66,2	136	5,0	141	0,34	850	2,09	21,5	(13,5)	15,8	15,2	(9,9)	(9,6)
38	Ирак	440	23,1	48,4	66,0	114	0,40	110	3,52	142	(91,3)	293	124	(188)	(80,0)
39	Япония	380	127	450		450	0,17	1184	3,50	24,5	(19,0)	5,4	5,4	(4,2)	(4,2)
40	Казахстан	2720	15,1	68,4	55,9	124	0,28	25,1	6,38	90,0	45,2	132	72,4	66,1	36,4
41	Киргизстан	200	4,95	48,9		48,9	0,15	245	9,90	20,5	14,4	41,9	41,9	29,4	29,4
42	Малазия	334	22,7	456		456	0,15	1365	20,0	23,6	(12,3)	5,17	5,17	(2,69)	(2,69)
43	Пакистан	804	146	40,2	186	226	0,37	50	0,91	27,0	(16,7)	67,2	12,0	(41,5)	(7,39)
44	Сирия	185	16,6	25,5	27,5	53,0	0,38	138	2,36	13,5	(8,7)	52,9	25,5	(34,1)	(16,4)
45	Таджикистан	140	6,20	47,2	46,9	94,1	0,15	337	11,4	26,5	15,1	56,1	28,2	32,0	16,0
46	Тайланд	510	62,1	198	120	318	0,20	388	4,15	66,5	(44,1)	33,6	20,9	(22,3)	(13,8)
47	Турция	770	66,1	213	1,5	214	0,30	277	3,23	135	(72,9)	63,2	62,6	(34,2)	(33,9)
48	Узбекистан	450	24,8	9,5	94,8	104	0,25	21,1	2,30	13,3	8,2	140	12,8	86,3	7,9
49	Вьетнам	332	79,1	320	546	866	0,18	964	7,50	16,5	(9,3)	5,16	1,9	(2,9)	(1,07)
Южная Америка															
50	Аргентина	2780	37,1	270	623	893	0,27	97,1	15,7	146	(85,0)	54,3	16,4	(31,5)	(9,5)
51	Бразилия	8510	170	6220	1900	8120	0,08	731	42,2	474	(272)	7,6	5,8	(4,4)	(3,4)
52	Чили	75	15,2	354		354	0,13	4720	23,3	10,5	(7,2)	2,9	2,9	(2,0)	(2,0)
53	Колумбия	1140	40,9	1200		1200	0,06	1053	29,3	28,2	(16,3)	2,35	2,35	(1,36)	(1,36)
54	Парагвай	410	5,50	48,9	500	549	0,30	119	54,3	33,1	(20,8)	67,7	6,0	(42,5)	(3,8)
55	Уругвай	180	3,40	68,1	74,1	142	0,50	378	30,9	11,7	(6,4)	17,2	8,24	(9,41)	(4,5)
56	Венесуэла	916	24,2	1470	337	1807	0,21	1605	67,7	154	(65,1)	10,5	8,53	(4,43)	(3,6)
Австралия и Океания															
57	Австралия	7680	19,2	352		352	0,24	45,8	18,3	73,2	(50)	20,8	20,8	(14,2)	(14,2)

ния и др.) до 17–30% (Испания, США, Канада). При этом в высоко развитых странах экологические последствия являются одним из главных факторов сооружения водохранилищ.

Распределение водных ресурсов рассматриваемых стран внутри года по месяцам показано на рис. 12.10. Большие площади территорий и разнообразные климатические условия в значительной степени выравнивают внутригодовое распределение стока рек указанных стран. Тем не менее и в них довольно четко выделяются периоды повышенной и пониженной водности. Например, в России и Канаде наибольшие водные ресурсы (55–70%) формируются в мае–августе, а в Индии и Китае на три месяца (с июля по сентябрь) приходится соответственно 47 и 65% годовых величин возобновляемых водных ресурсов.

Следует отметить, что приведенные характеристики внутригодового распределения водных ресурсов отражают естественные условия их формирования. Имеющиеся в стране полезные емкости водохранилищ позволяют существенно сгладить сезонные изменения водных ресурсов. В этом отношении наибольшими возможностями обладают США и Канада, которые имеют достаточно высокую степень регулирования речного стока: соответственно 23 и 17%. Наименьшая возможность регулирования стока находятся в Бразилии, где полезная емкость водохранилищ составляет всего 3% от годового объема возобновляемых водных ресурсов. Возможности регулирования стока в России, Китае и Индии примерно одинаковы: коэффициент регулирования в этих странах 8–10%.

Приведенные в табл. 12.10 величины возобновляемых водных ресурсов избранных стран мира являются приближенными, однако они значительно уточняют оценки, которые публикуются в различных мировых изданиях, в частности Института мировых ресурсов (WRI, 2000) и использование их для глобальных оценок более предпочтительно.

12.5. ПРИТОК РЕЧНЫХ ВОД В ОКЕАНЫ

12.5.1. Водные ресурсы и приток речных вод в океаны

Речные воды, несмотря на их сравнительно малую величину в общем объеме Мирового океана, играют весьма существенную роль в водном балансе и водообмене между его частями, а особенно в

физических процессах, которые происходят в морях и океанах. Впадая в них, реки становятся причиной возникновения в прибрежных районах стоковых течений, изменяющихся в зависимости от сезонных и годовых колебаний стока рек.

Особенно большое воздействие оказывают речные воды, если они поступают в так называемые бессточные озера и моря, не имеющие связи с Мировым океаном. Для этих водоемов сток рек является одним из основных факторов, определяющих их водный баланс и уровенный режим.

Величины притока речных вод в океаны с различной степенью детальности оценивались различными учеными, начиная с 80-х гг. XIX в. при изучении водного баланса Земного шара. Первоначально (конец XIX — начало XX в.) суммарный годовой приток речных вод в Мировой океан оценивался в пределах 15 000–25 000 км³ (Воейков, 1949).

В последующие годы, по мере накопления данных наблюдений, величины притока речных вод существенно уточнялись, и, как правило, их объем заметно увеличивался; по оценкам большинства авторов, выполненным в первой четверти XX в., величина годового притока находилась в пределах 26 000–29 000 км³, в 40–50-е гг. — 30 000–34 000 км³ (Львович, 1974, Будыко и др., 1980), в 1960–1970-е гг. — 36 000–42 000 км³.

Наиболее детальные оценки водного баланса Земного шара и притока во все океаны мира были независимо выполнены и опубликованы в упомянутых выше работах российских и немецких ученых (Корзун (ред.), 1974); Baumgartner, Reichel, 1975). По оценкам российских ученых, суммарный средний приток речных вод в Мировой океан составляет 42 500 км³ в год, по данным немецких ученых эта величина существенно меньше — 36 000 км³. Столь значительные различия объясняются использованием авторами разных методических подходов и исходных данных.

Представленные в настоящем разделе величины притока речных вод получены на основании исходных данных и методических подходов, изложенных выше, в разд. 12.2.

Следует отметить, что приток речных вод в Мировой океан по своей величине нельзя отождествлять с возобновляемыми водными ресурсами мира. Это происходит по двум причинам.

Во-первых, значительная часть речных водосборов относится к так называемым областям внутреннего стока или бессточным областям, которые не связаны с Мировым океаном. Общая площадь об-

ластей внутреннего стока составляет примерно 30 млн км² (20% всей площади суши), однако здесь формируется только 2,3% (около 1000 км³/год) годового стока рек мира. Это объясняется тем, что большая часть территории бессточных областей занята пустынями и полупустынями с очень малым количеством осадков. Крупнейшие бессточные области — бассейн Каспийского моря на территории Европы и Азии, большая часть Средней и Центральной Азии, Аравийского полуострова, Северной Африки, Австралии.

Незначительные по площади бессточные области имеются и в других регионах, включая Северную и Южную Америку (см. цв. вкл., рис. 48). Как известно, сток рек, формирующийся в бессточных областях, не поступает в Мировой океан; водные ресурсы в этих областях полностью затрачиваются на испарение с суши и с водной поверхности водоемов, а также используются на хозяйственные нужды, главным образом, на орошение.

Во-вторых, в областях внешнего стока, непосредственно связанных с Мировым океаном, величины водных ресурсов речных бассейнов далеко не всегда совпадают с объемом стока в устье главной реки. Особенно это имеет место в речных бассейнах, имеющих зоны формирования стока с большим количеством осадков, когда по мере продвижения к устью значительная часть стока теряется на непродуктивное испарение и на хозяйственные нужды в равнинной и низменной частях бассейна. По приближенной оценке, суммарно на всех континентах в областях внешнего стока только на непродуктивное испарение теряется и не доходит до устья примерно 1100 км³ в год речного стока; помимо этого примерно 1100–1200 км³ (в среднем за 40–50-летний период) безвозвратно затрачивается на хозяйственные нужды и также не поступает в океан.

Таким образом, суммарный приток речных вод в Мировой океан по величине будет существенно меньше величины возобновляемых водных ресурсов континентов Земли.

Для количественной оценки притока речных вод с суши в океаны на территории каждого континента, помимо бессточных областей, выделены границы материковых склонов, проведенные по водоразделам рек, впадающих в различные океаны (см. цв. вкл., рис. 48): для Европы — в Атлантический и Северный Ледовитый, для Северной Америки — в Атлантический, Тихий и Северный Ледовитый, для Африки — в Атлантический и Тихий, для

Азии — в Тихий, Индийский, Северный Ледовитый и Атлантический и для Австралии — в Тихий и Индийский океаны.

Следует отметить, что водораздел между Северным Ледовитым и Атлантическим океанами в восточной части северо-американского континента является довольно условным, поскольку часть речного стока, поступающего в Гудзонов залив, перетекает в Северный Ледовитый океан. В связи с этим гидрологи часто относят водосборы рек, впадающих в Гудзонов залив и пролив, к бассейну Северного Ледовитого океана; (Корзун (ред.), 1974).

Величины средних за многолетний период значений притока речных вод в океаны со всех континентов представлены в табл. 12.11 и на рис. 12.11, а на рис. 12.12 показана их динамика по годам за рассматриваемый многолетний период (1921–1985 гг.).



Рис. 12.11. Приток речных вод в Мировой океан

Суммарная величина притока в Мировой океан оценивается в 39 500 км³ в год; при этом наибольший приток имеет место с Южной Америки и Азии (примерно по 11 800 км³ в год), наименьший — с Австралии с Океанией (2300 км³ в год) и с Европы (2500 км³ в год). При расчетах водного баланса океанов необходимо иметь в виду, что помимо приведенных данных по стоку рек, в океан с материков поступают пресные подземные воды, не дренируемые реками, а также откальывающиеся айсберги и талые воды с ледяного покрова Антарктиды. По последним оценкам Института водных проблем (Зекцер, 2001), суммарный годовой приток подземных вод в Мировой океан составляет 2400 км³, а ледовый сток с Антарктиды оценивается в 2300 км³ в год (Корзун (ред.), 1974).

Согласно данным табл. 12.11, примерно половина суммарного притока речных вод в Мировой океан приходится на Атлантический океан, куда впадают четыре из шести крупнейших рек мира (Амазонка, Конго, Ориноко и Ла-Плата). Меньше

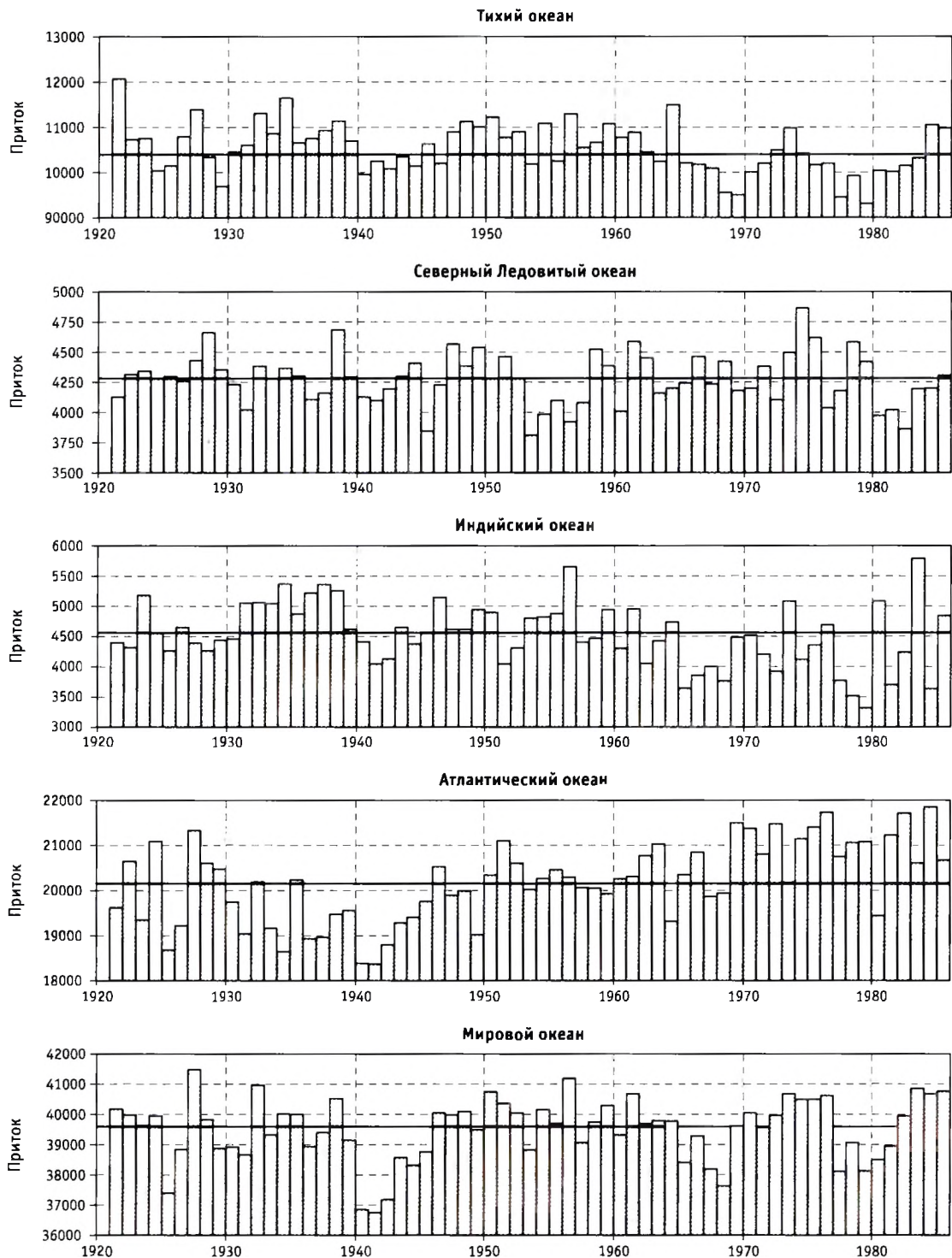


Рис. 12.12. Динамика притока речных вод (км³/год) в Мировой океан

Приток речных вод в океаны с континентов

Океаны Континенты	Тихий			Атлантический			Индийский			Северный Ледовитый			Мировой океан		
	Площадь водосб., тыс. км ²	Приток, км ³ /год	Слой, мм	Площадь водосб., тыс. км ²	Приток, км ³ /год	Слой, мм	Площадь водосб., тыс. км ²	Приток, км ³ /год	Слой, мм	Площадь водосб., тыс. км ²	Приток, км ³ /год	Слой, мм	Площадь водосб., тыс. км ²	Приток, км ³ /год	Слой, мм
Европа	—	—	—	6769	1850	273	—	—	—	1531	694	453	8300	2544	306
Северная Америка	5300	1950	368	12 620	4400	349	—	—	—	5450	1170	215	23 370	7560	323
Африка	—	—	—	14 900	2990	201	5610	530	94	—	—	—	20 510	3520	172
Азия	11 900	5800	487	620	201	324	7000	3440	491	11 670	2418	207	31 190	11 859	380
Южная Америка	1240	1000	806	15 190	10 750	708	—	—	—	—	—	—	16 430	11 750	715
Австралия и Океания	1720	1740	1012	—	—	—	3310	560	169	—	—	—	5030	2300	457
Вся суша (без Антарктиды) округленно	20 160	10 530	522	50 100	20 190	403	15 920	4 530	284	18 650	4 280	229	104 830	39 530	377

всего речных вод (4300 км³ в год) поступает в Северный Ледовитый океан, однако именно для режима этого океана речные воды играют особенно большую роль, поскольку объем воды в океане очень мал по сравнению с другими океанами.

Анализ данных рис. 12.12 показывает, что суммарный приток воды в Мировой океан довольно стабилен и не имеет какого-то выраженного тренда за рассматриваемый период. В то же время наблюдается заметный тренд уменьшения притока в Индийский и Тихий океаны (что, по-видимому, в какой-то мере можно объяснить ростом потерь воды на хозяйственные нужды) и увеличения в Атлантический океан.

Речной сток поступает в Мировой океан крайне неравномерно, что можно продемонстрировать данными, представленными на рис. 12.13, где по-

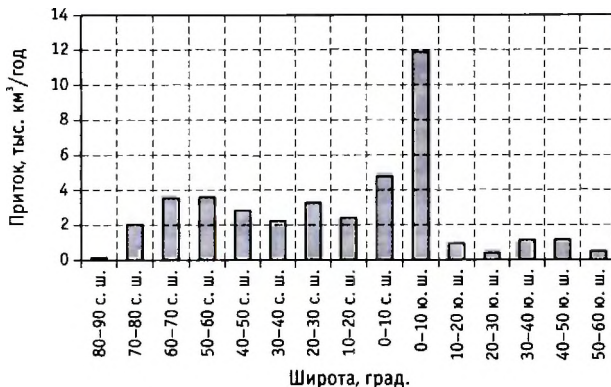


Рис. 12.13. Приток речных вод в Мировой океан по широтным зонам

казано распределение притока в Мировой океан по широтным зонам. В районе экватора в зоне 10° северной и 10° южной широты поступает в океан в среднем около 40% всего речного стока (в этой зоне впадают в океан три из пяти крупнейших рек мира: Амазонка, Конго, Ориноко).

12.5.2. Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан

Анализ динамики притока речных вод в океаны, полученной по данным наблюдений, особенно важен в последние десятилетия в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности в бассейнах речных систем и процессами повышения глобальной температуры воздуха, которые стали особенно заметными, начиная с 1980-х гг. (IPCC, 2001).

В самые последние годы удалось получить детальные гидрологические данные для бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) (Lammers et al., 2000). Использование данных по месячному и годовому стоку рек бассейна за весь период наблюдений до 1999 г. по 5000 гидростворов позволило выполнить анализ динамики притока речных вод в Северный Ледовитый океан за последние десятилетия в связи с процессами глобального потепления (Shiklomanov et al., 2000; Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003).

Бассейн СЛО занимает огромную территорию на севере Евразии и Северной Америки, далеко выходящую за пределы территории собственно Арк-

тики, южную границу которой обычно определяют по линии, разделяющей лесную зону и зону тундры, что примерно соответствует изотерме $+10^\circ$ среднеиюльской температуры. Южная граница бассейна океана на территории Азии и Северной Америки, где формируется сток крупнейших рек, впадающих в океан, находится за тысячи километров от Арктики, достигая $45-50^\circ$ с. ш.

К бассейну СЛО примыкают территории, речной сток с которых непосредственно не поступает в океан, но может оказывать то или иное воздействие на происходящие в нем процессы. Это, прежде всего, бассейны североамериканских рек, впадающих в Гудзонов залив и Гудзонов пролив, большая часть стока которых поступает в Атлантический, а частично в СЛО. Близкая ситуация наблюдается в отношении р. Юкон и рек Анадырского залива, которые географически относятся к бассейну Тихого океана, однако, по-видимому, часть стока этих рек через Берингов пролив может поступать в СЛО. В связи с изложенным, сток с указанных территорий в той или иной мере необходимо принимать во внимание при оценке динамики притока речных вод в океан, тем более, что он составляет весьма значительную величину, превышающую 1200 км^3 в год. При этом иногда сток рек бассейнов Гудзона залива и Гудзона пролива в полном объеме относят к бассейну СЛО (Корзун (ред.), 1974).

В табл. 12.12 приведены площади различных частей бассейна и прилегающих территорий, площади территорий, не затронутых гидрологическими наблюдениями, а также количество гидрометрических створов в каждом регионе.

Наибольшее количество гидростворов расположено на территории США, особенно их много в бассейне Гудзона залива и пролива. Плотность сети станций на территории Северной Америки существенно выше, чем на огромной Азиатской территории и даже на территории Европы, относящейся к бассейну океана. Однако гидрологическая сеть в Северной Америке имеет относительно короткие ряды наблюдений (обычно не более 30–40 лет); на азиатской и европейской частях бассейна продолжительность рядов значительно выше (55–65 лет).

Кроме того, гидрологические посты в Северной Америке распределены крайне неравномерно по территории; северная часть континента — арктические острова Канады и Гренландия практически не освещены наблюдениями; то же самое относится к островам европейской Арктики (Шпицберген, Новая Земля и др.), а также к тундровой части крайнего севера территории России.

В соответствии с данными табл. 12.12, лучше всего освещена гидрологическими наблюдениями азиатская часть бассейна СЛО (85%), для европейской части этот показатель равен 70%, а для Северной Америки — 50–60%. В целом для всего бассейна около 26–33% территории не освещено гидрологическими наблюдениями, что очень затрудняет надежную количественную оценку притока речных вод в океан и вносит значительную долю неопределенности в получаемые результаты.

Среднемноголетние (за 1921–1999 гг.) и экстремальные величины годового притока речных вод по всем регионам бассейна СЛО, представлены в табл. 12.13.

Таблица 12.12

Площади водосборов, количество гидростворов, площади, освещенные и не освещенные наблюдениями в различных регионах бассейна СЛО

Регион	Площадь водосбора, тыс. км ²	Количество гидростворов	Площадь, не освещенная наблюдениями, тыс. км ²	Площадь, освещенная наблюдениями, % от общей площади
Северная Америка (только бассейн СЛО)	4012	588	1997	50,2
Северная Америка (бассейн СЛО с прилегающими территориями)	8646	2233	3452	60,1
Азия (только бассейн СЛО)	11 186	2203	1668	85,1
Азия (бассейн СЛО и бассейн Анадырского залива)	11 409	2222	1735	84,8
Европа	1501	598	440	70,7
Гренландия	2176	0	2176	0,0
Бассейны прилегающих территорий	4869	1664	1531	68,6
Бассейн СЛО	18875	3389	6281	66,7
Бассейн СЛО с прилегающими территориями	23 732	5053	7803	67,1
Бассейн СЛО с прилегающими территориями, но без Гренландии	21 556	5053	5628	73,9

Статистические характеристики годового притока речных вод в СЛО за 1921–1999 гг.

Бассейн	Средний приток, км ³ /год	Коэффициент вариации C_V	Максимальный приток		Минимальный приток	
			км ³	год	км ³	год
Берингов пролив	301	0,09	362	1990	259	1999
Гудзонов залив и пролив	946	0,09	1140	1966	733	1989
Северная Америка (бассейн СЛО)	1187	0,09	1510	1996	990	1953
Северная Америка с Гудзоновым заливом и проливом	2133	0,07	2475	1996	1800	1998
Европа	697	0,08	884	1938	504	1960
Азия (бассейн СЛО)	2430	0,06	2890	1974	2100	1953
Бассейн СЛО	4314	0,05	4870	1974	3820	1953
Бассейн СЛО с Гудзоновым заливом и проливом	5250	0,04	5950	1974	4700	1953

Суммарный за многолетний период приток речных вод в Северный Ледовитый океан вместе со стоком рек Гудзонова залива и пролива составляет 5250 км³ в год, при этом на долю Азии приходится 46% притока, Северной Америки — 41% и Европы — 13%. Из этого объема на долю Гудзонова залива и пролива приходится 948 км³ в год. Сток рек в районе Берингова пролива (Юкон и др.) оценивается в 300 км³ в год. Если не учитывать сток рек Гудзонова залива и пролива, то на долю Азии придется 56,5% притока, Северной Америки — 27,4%, Европы — 16,1%.

Многолетняя изменчивость годового притока (C_V) по региону бассейна невелика и находится в пределах $C_V = 0,04–0,09$; экстремальные величины годового притока за рассматриваемый период отличаются от среднееголетнего на 15–20% (табл. 12.13). Изменчивость суммарного притока в океан составляет $C_V = 0,04–0,05$; максимальный приток имел место в 1974 г. и составил 5950 км³/год (на 13% больше среднееголетней величины), минимальный был в 1953 г. и составил 4700 км³ (на 11% меньше среднего).

Следует отметить, что за первые 20–30 лет исследуемого периода, когда гидрологическая сеть наблюдений в бассейне была очень редкой, и данные наблюдений отсутствовали даже на некоторых крупных реках, результаты оценки годовых величин притока во многом зависели от надежности методов восстановления рядов стока. Естественно, что точность оценки притока в этот период была существенно ниже, чем, например, за последние 40–50 лет рассматриваемого периода. Тем не менее выполненный анализ рядов по всем регионам за весь период 1921–1999 гг. показал их статистическую однородность.

В динамике притока речных вод в СЛО с Азиатской территории и в целом с территории Евразии

довольно четко проявляется тренд его незначительного увеличения за весь рассматриваемый период и особенно заметный за последние 15 лет.

Примерно такая же картина имеет место в Северной Америке (исключая Гудзонов залив и пролив). Здесь тренд увеличения притока даже более значителен, чем в Евразии: в Северной Америке он составляет за весь период 7,8%, в Евразии — 1,6%. Однако за тот же период в Северной Америке имел место заметный тренд уменьшения стока рек в бассейне Гудзонова залива и пролива. С учетом этого региона приток в океан с Северо-Американского континента практически оставался стабильным.

В целом по суммарному притоку речных вод в океан имеется достаточно четкий тренд увеличения, особенно, если исключить влияние стока рек Гудзонова залива и пролива (рис. 12.14). Положительный тренд за весь период составляет 2,9% (увеличение суммарного притока на 125 км³/год).

Таким образом, можно сделать общий вывод, что потепление температуры воздуха в Северном

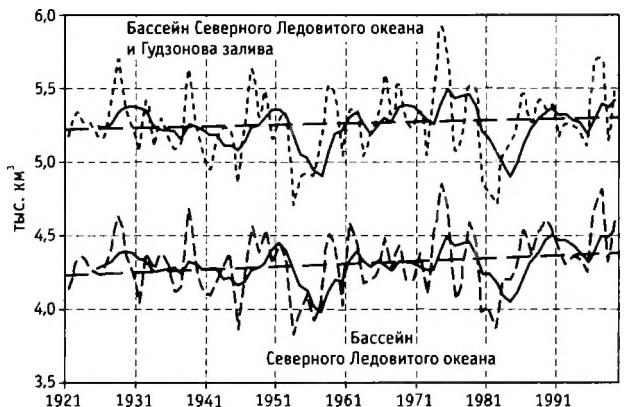


Рис. 12.14. Динамика притока в Северный Ледовитый океан за 1921–1999 гг.

полушарии за последние 80–100 лет примерно на 0,5 °С сопровождалось тенденцией незначительно-го увеличения притока речных вод в СЛО.

В количественном отношении величины притока речных вод за различные периоды, выраженные в средних значениях и в модульных коэффициентах по отношению ко всему многолетнему периоду (1921–1999 гг.), показаны в табл. 12.14.

Таблица 12.14

**Величины годового притока в СЛО
за различные многолетние периоды**

Бассейн	Периоды	Средний приток, км ³ /год	Модульный коэффициент
Гудзонов залив и пролив	1921–1965	952	1,01
	1966–1976	1034	1,09
	1977–1987	908	0,96
	1988–1999	878	0,93
Бассейн Северной Америки	1921–1965	1165	0,98
	1966–1976	1218	1,03
	1977–1987	1183	1,00
	1988–1999	1246	1,05
Северная Америка с Гудзоновым заливом и проливом	1921–1965	2117	0,99
	1966–1976	2251	1,06
	1977–1987	2091	0,98
	1988–1999	2124	1,00
Европа	1921–1965	699	1,00
	1966–1976	674	0,97
	1977–1987	687	0,98
	1988–1999	721	1,03
Азия	1921–1965	2412	0,99
	1966–1976	2482	1,02
	1977–1987	2379	0,98
	1988–1999	2517	1,03
Суммарно бассейн СЛО	1921–1965	4276	0,99
	1966–1976	4370	1,02
	1977–1987	4248	0,98
	1988–1999	4484	1,04
Бассейн СЛО и Гудзонов залив и пролив	1921–1965	5228	0,99
	1966–1976	5408	1,03
	1977–1987	5157	0,98
	1988–1999	5362	1,02

По данным табл. 12.14, увеличение притока за последние 12 лет, по сравнению с периодом 1921–1965 гг., имело место во всех частях бассейна океана на величины 3–7%; исключение составляет бассейн Гудзонова залива и пролива, где сток рек в последний период уменьшился на 6%. Для бассейна океана в целом за этот период приток речных вод увеличился (по сравнению с 1921–1965 гг.) на 208 км³/год, т. е. за 12 лет океан получил дополнительно почти 2500 км³ пресной воды; для Евразийского региона эти величины составляют соответственно 127 км³ в год и 1500 км³ (табл. 12.14).

Изучение динамики притока речных вод в связи с антропогенными изменениями глобального климата имеет огромное значение не только для СЛО, но и для процессов циркуляции вод в Северной Атлантике, которые во многом определяют климатическую ситуацию в высоких и умеренных широтах Северного полушария.

Многочисленные исследования, выполненные в разных странах, убедительно показывают, что опреснение СЛО увеличивает Северо-Атлантические колебания (САК) и уменьшает формирование Северо-Атлантических Глубинных Вод и Атлантическую Термогалинную Циркуляцию. Особенно велика в этом процессе роль пресных вод, поступающих в океан с Евразийского материка.

Однако выводы об увеличении притока за последние годы, приведенные выше на основании данных табл. 12.14, могут показаться недостаточно убедительными, поскольку они основаны не только на данных наблюдений, но и в значительной мере на результатах расчетов при восстановлении рядов за 1920-е гг. и оценки притока с территорий, вообще не имеющих наблюдений.

Для получения более надежных выводов, группой специалистов из США, России и Германии был выполнен анализ динамики притока речных вод в океан, изменений глобальной температуры воздуха и индекса Северо-Атлантических колебаний (САК) за период с 1936 по 1999 г., результаты которого опубликованы в журнале «SCIENCE» (Peterson et al., 2002).

Для анализа были использованы данные по суммарному годовому стоку шести крупнейших рек,

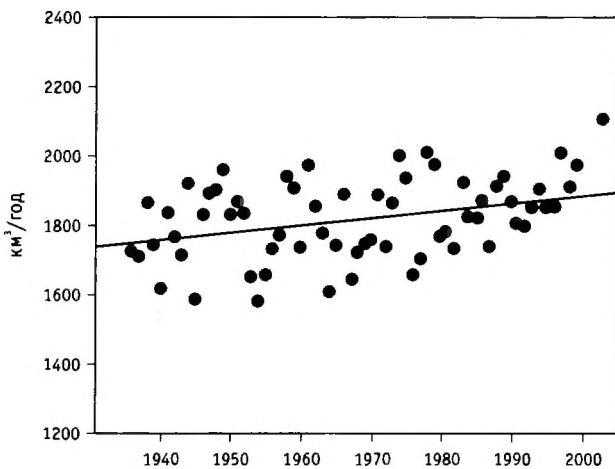


Рис. 12.15. Динамика стока шести евразийских рек, впадающих в Северный Ледовитый океан за период 1936–1999 гг.

впадающих в океан с Евразийского континента: Енисей, Лена, Обь, Колыма, Печора, Северная Двина. Все эти реки имеют непрерывный ряд надежных наблюдений в устьевых створах за весь рассматриваемый период (1936–1999 гг.).

Динамика суммарного годового стока указанных рек за этот период, представленная на рис. 12.15, показывает значительный положительный тренд со среднегодовым увеличением $2,0 \pm 0,7 \text{ км}^3$ в год. Таким образом, суммарный среднегодовой сток этих рек в настоящее время увеличился на 124 км^3 /год, или на 7%, по сравнению с началом периода наблюдений в 1930-е гг.

Как показал анализ, изменение стока арктических евроазиатских рек очень хорошо согласуется с изменением за тот же период индекса САК и глобальной температуры приземного воздуха (рис. 12.16). Глобальная температура за рассматриваемый период увеличилась на $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$, температура в бассейне СЛО — на $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ и температура в евроазиатской части бассейна — на $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

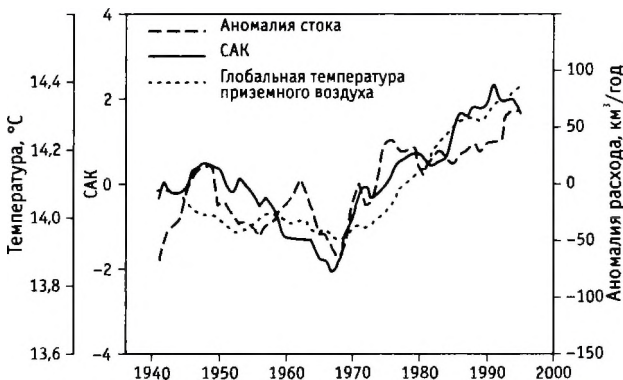


Рис. 12.16. Осредненные по скользящим десятилетиям аномалии суммарного стока рек, зимнего индекса Северо-Атлантических колебаний (САК) и глобальной температуры приземного воздуха за период 1936–1999 гг.

Достаточно хорошее соответствие между изменениями стока евроазиатских рек, впадающих в СЛО, и глобальной температурой воздуха позволяет сделать некоторые приближенные оценки, ориентированные на будущее.

Межгосударственная группа по изменению климата (IPCC, 2001) прогнозирует изменение глобальной температуры приземного воздуха к 2100 г. на величину от $1,4^\circ$ до $5,8^\circ\text{C}$. В соответствии с данными, приведенными на рис. 12.15 и 12.16, это приведет к увеличению суммарного стока шести евроазиатских арктических рек от 315 до 1260 км^3 /год

или от 18 до 70% по сравнению с современными условиями (Peterson et al., 2002).

Близкие результаты ожидаемого при глобальном потеплении увеличения годового стока евроазиатских рек в бассейне Северного Ледовитого океана ($\approx 35\%$) были получены в работе (Miller, Russell, 1992) при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере ($\approx 4^\circ\text{C}$ глобального потепления), а также в работах ученых России (от 15 до 45% при $2\times\text{CO}_2$) (Шикломанов А. И., 1994; Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003) и Великобритании (от 10 до 25% на 2050 г.) (Arnell, 1999).

Изменения в притоке речных вод в указанных объемах чрезвычайно важно в отношении формирования северо-атлантических глубинных вод, тем более, что глобальное потепление будет сопровождаться таянием льдов Гренландии и, как ожидается, увеличением осадков на поверхность океана.

Все это потенциально может привести к нарушению устойчивости формирования северо-атлантических глубинных вод и изменению атлантической термогалинной циркуляции с возможными очень большими последствиями для климата уже в XXI столетии в высоких и умеренных широтах Северного полушария. Все эти проблемы требуют тщательного изучения всех компонентов гидрологического цикла на акватории Северного Ледовитого океана в его бассейне и на прилегающих территориях.

12.6. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

12.6.1. Методика оценки и прогноза водопотребления и водообеспеченности

Для исследования многолетних изменений водных ресурсов и водообеспеченности в глобальном масштабе была выполнена количественная оценка водопотребления (полного и безвозвратного) на современном этапе, за прошлые годы и десятилетия XX столетия, и дан прогноз на перспективу (до 2010–2025 гг.). В исследованиях ГГИ анализ динамики водопотребления совместно с величинами возоб-

новляемых водных ресурсов выполнен для Земного шара в целом, для всех континентов и 26 природно-экономических регионов мира (см. разд. 12.4.3), а также для избранных стран, развитых и развивающихся, расположенных в различных физико-географических условиях, для которых достаточно надежно определены характеристики водных ресурсов.

Для каждого континента, региона или избранной страны оценивались раздельно полное и безвозвратное водопотребление на нужды населения городов (коммунальное водопотребление), промышленности (включая теплоэнергетику), сельского хозяйства (орошение и сельскохозяйственное водоснабжение), а также потери воды на дополнительное испарение с водной поверхности водохранилищ. Все оценки производились на следующие расчетные уровни: 1900, 1940, 1950, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000, 2010 и 2025 гг. Такой подход дает возможность проследить динамику водопотребления в мире как в пространстве, так и во времени в течение XX в. и начале текущего столетия.

На первом этапе оценка водопотребления производилась для стран мира, а затем уже полученные величины обобщались для природно-экономических регионов, континентов и для Земли в целом. Всего за различные годы анализировались данные по характеристикам водопотребления и определяющим их факторам примерно по 160 странам мира. При этом, прежде всего, использовались национальные данные по фактическому водопотреблению страны или группы стран. В настоящее время такие данные с той или иной степенью детализации и надежности имеются для многих стран всех континентов. Наиболее полные данные за довольно продолжительный период (несколько десятков лет) опубликованы в изданиях международных организаций или отдельными авторами, например для США, стран бывшего СССР, большинства стран Европы, Канады, Китая, Индии, Мексики, Кубы, Бразилии, Аргентины, Египта, Кении, ЮАР, Японии, Турции, Австралии.

Среди этих работ следует указать публикации: (WRI, 1996–2000; Kulshreshtha, 1992; Gleick, 1993; UN, 1993; Seckler et al., 1998). Детальные проработки по анализу современного и перспективного водообеспечения выполнены для стран Средиземноморья, арабских и африканских стран (Margat, 1995; Rostas, 1995; UN/DPCSD, 1995; UNESCO, 1995; FAO, 1997).

Следует отметить, что при обобщении опубликованных данных по водопотреблению многих

стран встречаются серьезные трудности, поскольку приводимые различными авторами результаты оценки нередко разноречивы и малосравнимы между собой. Часто приводятся неполные сведения, охватывающие лишь отдельных водопотребителей без указания временного периода, к которому эти данные относятся. В то же время объемы водопотребления могут значительно изменяться по годам. Особенно мало данных по безвозвратному водопотреблению, их нет для большинства стран мира; не приводятся они и в упомянутых выше обобщающих публикациях. Крайне мало надежных данных по водопотреблению в странах мира за период 1960–1970-х гг. и по прогнозу водопотребления; отсутствуют сведения по динамике затрат воды на дополнительное испарение с водохранилищ по странам и регионам мира.

Наряду с широким использованием национальных данных по водопотреблению, оценки на современный период, за прошлые годы и на перспективу производились с использованием специально разработанных методических подходов, основанных на учете главных факторов, определяющих величину и динамику водопотребления (полного и безвозвратного) (см. разд. 9.2 и 10.5). На основе указанных выше факторов широко использовался метод аналогии. Для этого в качестве аналогов выбирались страны, имеющие надежные данные по водопотреблению и находящиеся в сходных физико-географических условиях и близких по уровню и особенностям хозяйственного развития со странами, для которых данные по водопотреблению отсутствовали.

Коммунальное водопотребление. Водопотребление населением в городских и сельских населенных пунктах оценивалось по данным о динамике численности населения (городского и сельского) и по величине удельного водопотребления на одного жителя за сутки. Динамика численности населения за прошлые годы и на современный период принята по статистическим справочникам, а на перспективу — по прогнозу ООН (UN, 1995), где по всем странам мира приведены прогнозы численности населения до 2050 г. Удельное водопотребление на одного жителя и доля безвозвратного водопотребления по каждой стране принимались по опубликованным данным национальных оценок или материалов международных организаций; при их отсутствии — по удельному водопотреблению в странах-аналогах. При ретроспективных и перспективных оценках учитывались изложенные выше, в

разд. 9.2, тенденции в изменении удельного водопотребления городским и сельским населением и безвозвратных потерь воды в процентах от полного водопотребления.

Водопотребление на нужды сельского хозяйства.

Оценка водопотребления на орошение на современный уровень и за прошлые годы производилась путем анализа динамики за 1960–1994 гг. следующих характеристик: численности населения (по данным ООН); площадей орошаемых земель по годам (по данным ФАО), в том числе в удельных величинах (в га на 1000 жителей); величин годового валового национального продукта (ВНП), выраженных в долларах США на одного жителя. При этом значения удельного водопотребления и величины безвозвратного водопотребления принимались по данным национальных оценок или по странам-аналогам. Безвозвратные потери воды при орошении (в % от водозабора) колеблются по странам и регионам мира в пределах от 50 до 95%, в зависимости от наличия дренажа, способов и техники полива, физико-географических условий. В ряде случаев для контроля получаемых величин использовались данные по испаряемости в национальных источниках и в Мировом Атласе карт (Корзун (ред.), 1974).

Оценка ирригационного водопотребления на перспективу 2010 и 2025 гг. базировалась, главным образом, на прогнозах динамики площадей орошаемых земель. В основу прогнозов положен комплексный тенденциальный подход, который предполагает совместный учет основных факторов, определяющих, с одной стороны, потребности в орошении, а с другой — имеющиеся в различных странах возможности для его развития. К первой группе факторов относятся климатические условия и особенности исторического развития стран, динамика численности населения в целом и численности городского и сельского населения; особенности внутреннего и внешнего рынка и функционирования стран в мировой экономической системе, национальные стратегии в водопользовании. Вторая группа включает общий уровень экономического развития стран (выражаемый с помощью величины ВНП), имеющиеся водные ресурсы, величину ирригационного фонда земель и достигнувшую степень их освоения, необходимые ограничения, связанные с загрязнением окружающей среды и деградацией земель.

Прогноз выполнялся отдельно для каждой страны путем анализа комплексных графиков многолетней (за 1965–1995 гг.) динамики годового валового

национального продукта ВНП (в долларах США) (ИМФ, 1994), площадей орошаемых земель (тыс. га), удельной площади орошаемых земель (га/1000 чел), с последующей их экстраполяцией до 2025 г. Экстраполяция производилась с учетом имеющихся долгосрочных прогнозов динамики численности населения и величины ВНП, национальных прогнозов развития ирригации, а также выявленных за 30-летний период для отдельных групп стран достаточно четких, объективных тенденций развития орошения, динамики численности населения и величин ВНП.

В результате исследований было установлено, что независимо от величины ВНП для большинства стран мира наблюдается взаимосвязь динамики ВНП с интенсивностью и характером изменений площадей орошаемых земель. Исключение составляют только высокоразвитые промышленные страны с ограниченными земельными ресурсами (Япония, Германия, Гонконг и др.), где величина орошаемых земель достаточно стабильная и практически не зависит от динамики ВНП. На рис. 12.17, а в качестве примера приведен комплексный график для Японии с экстраполяцией площади орошения до 2025 г.

Для высокоразвитых стран с большими величинами ВНП, с традиционно развитым орошением и большим фондом неосвоенных земель, интенсивность прироста орошаемых земель значительно снижается в периоды экономических кризисов в связи с отсутствием достаточных ресурсов для продолжения запланированного развития ирригации. В последние десятилетия в них намечается четкая тенденция к замедлению прироста орошаемых земель, которая обусловлена или необходимостью проведения дорогостоящих мероприятий в области охраны окружающей среды (например, США, Австралия, Новая Зеландия и др.) или очень малым приростом численности населения. На рис. 12.17, б и 12.17, в приведены комплексные графики для США и Новой Зеландии соответственно.

Развитие орошения в индустриально-аграрных странах со средними доходами в большой степени определяется уровнем освоенности ирригационного фонда. Если ирригационный фонд близок к исчерпанию, наблюдаются низкие темпы наращивания орошаемых земель, зависящие от динамики дохода. Очевидно, что в этом случае значительные средства должны расходоваться на освоение менее удобных земель и на улучшение существующих оросительных систем. В качестве примера на

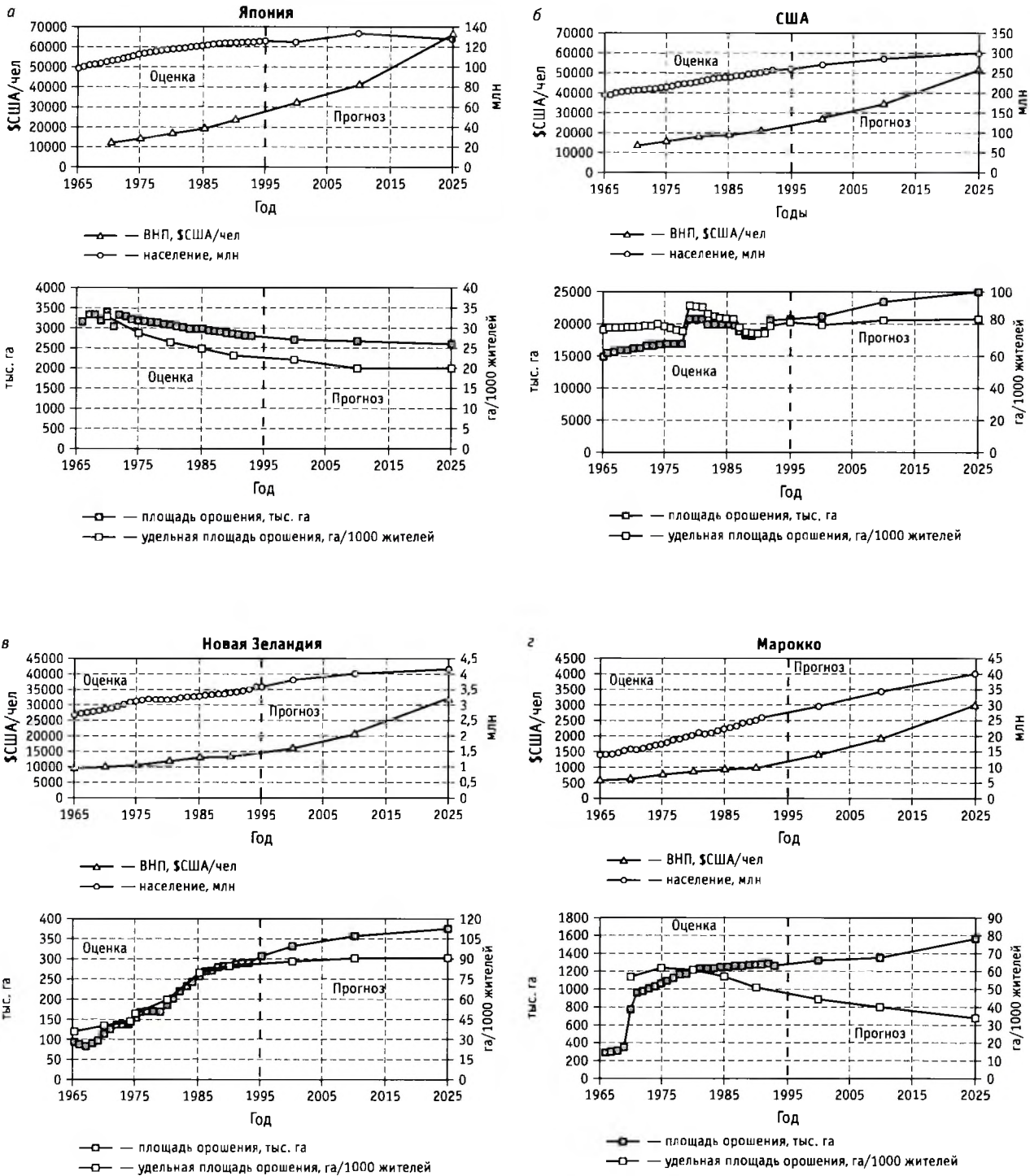


Рис. 12.17. Динамика основных показателей ирригации в избранных странах мира

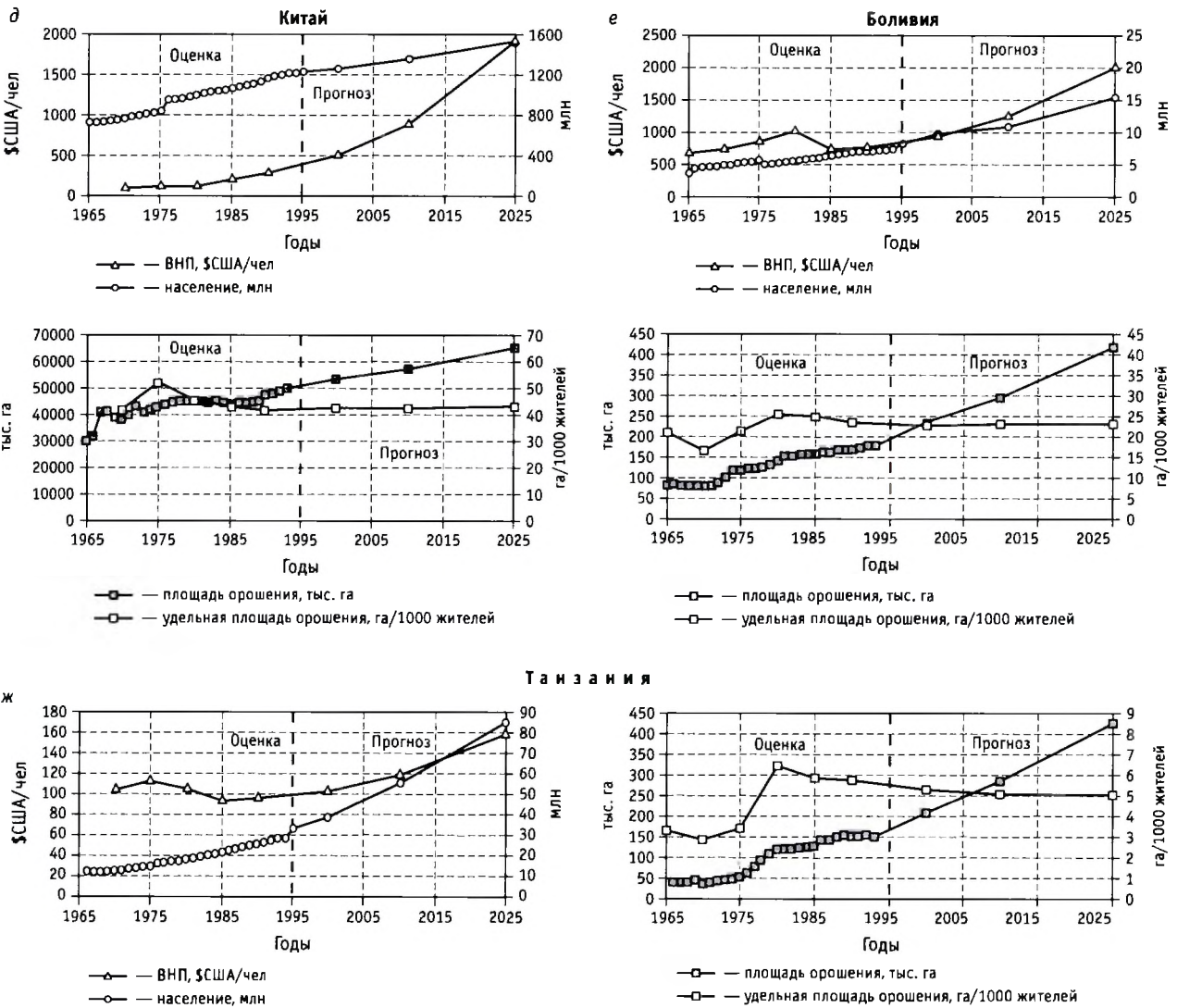


Рис. 12.17. Окончание

рис. 12.18, з приведен комплексный график для Марокко.

В развивающихся странах с интенсивным приростом населения и обладающих значительным неосвоенным ирригационным потенциалом, ирригационное строительство часто осуществляется в соответствии с государственным планированием, которое и следует рассматривать в качестве основного фактора динамики орошаемых земель на перспективу (Китай, Индия, Пакистан и др.). В этой группе особенно высокие темпы прироста орошаемых земель характерны для аграрных стран, в которых продукция, получаемая в сельскохозяйствен-

ном секторе, является одним из основных источников национального дохода (например, Боливия (рис. 12.17, е) и Танзания (рис. 12.17, ж)). При этом рост площадей орошения характеризуется высокой стабильностью и может замедляться только в периоды экстремального снижения величин ВВП. В качестве примера на рис. 12.17 д, е приведены комплексные графики для Китая и Боливии.

Следует отметить, что имеющиеся для большинства стран статистические ряды площадей орошаемых земель недостаточно продолжительны и их прогнозирование на перспективу недостаточно эффективно и может иметь слишком большие по-

грешности. Более надежные данные получаются при привлечении дополнительной информации в виде динамики численности населения. В частности, более информативной при анализе является величина удельной площади орошения (га на 1000 жителей). Эта величина достаточно устойчива и более чувствительна к изменению величин ВВП, чем площадь орошения в абсолютном выражении (см. рис. 12.17). Поэтому для большинства стран экстраполировались на перспективу (с учетом изложенных выше типовых тенденций) именно величины удельной площади орошения, а по ним уже, с учетом прогнозной численности населения, определялась абсолютная величина орошаемых площадей.

При прогнозировании орошаемых площадей на отдаленную перспективу принимались во внимание лимитирующие факторы: площади земель, пригодные для орошения, и доступные для использования водные ресурсы. В ряде природно-экономических регионов мира, особенно включающих достаточно «богатые» страны, в качестве наиболее важных факторов, лимитирующих развитие ирригации, рассматривались национальные стратегии в области водных ресурсов.

Для оценки на перспективу водопотребления на орошение, помимо площадей орошаемых земель, необходимо знать величины удельного водопотребления в м³ на гектар, которые со временем могут претерпевать существенные изменения. При прогнозировании принималось, что величина удельного водопотребления на орошение будет иметь некоторую тенденцию к уменьшению в связи с предпринимаемыми мерами по совершенствованию технологических приемов и технических средств полива, направленных на более экономное использование водных ресурсов. Величина уменьшения принималась различной для регионов и стран в зависимости от уровня их развития и физико-географических условий; в большинстве случаев она находилась в пределах от 5 до 10%. Наибольшие величины приняты для относительно «богатых», быстро развивающихся стран с ограниченными водными ресурсами. Безвозвратное водопотребление при орошении (в % от водозабора) принималось на перспективу без изменений, т. е. на уровне 1990–1995 гг.

Промышленное водопотребление. Водопотребление на промышленные цели рассчитывалось, исходя из динамики промышленного производства в различных районах Земного шара; при этом в ка-

честве аналогов принимались имеющиеся данные по этому виду водопотребления в перечисленных выше странах мира, куда входят страны с различным уровнем экономического развития, расположенные в различных физико-географических условиях. Расчеты на современный период и на ретроспективу велись отдельно для теплоэнергетики и суммарно для всех других промышленных отраслей, имеющих существенно различные тенденции, темпы развития и величины безвозвратных потерь, а затем для каждого региона суммировались. Безвозвратное водопотребление в теплоэнергетике принималось равным от 1 до 4%, а в других отраслях промышленности от 10 до 40% от водозабора в зависимости от уровня развития промышленности, наличия систем оборотного водоснабжения и климатических условий.

Оценки на перспективу до 2025 г. производились отдельно для каждой страны, принимая во внимание специальные разработки, выполненные Организацией Объединенных Наций по промышленному развитию (ПРООН) (Strzepek, Bowling, 1995). В этой работе на основе анализа современной ситуации в мире и прогноза величин ВВП, дана прогнозная оценка увеличения по отношению к 1990 г. промышленного водопотребления на уровень 2025 г. для всех основных стран мира. Прогноз выполнен для высокого, среднего и низкого уровня производства электрической энергии в мире для четырех различных вариантов глобального развития. В качестве основы был принят наиболее оптимистический вариант развития (Глобальный Баланс), но для среднего уровня роста производства электрической энергии. В соответствии с этим вариантом ПРООН предполагалось увеличение водопотребления к 2025 г. в развитых странах в 1,4–2,9 раза и в развивающихся — в 3–10 раз. Анализируя предлагаемые ПРООН величины роста промышленного водопотребления (по всем вариантам), был сделан вывод, что они чрезмерно завышены и не в полной мере отвечают современным тенденциям изменения указанного вида водопотребления. В связи с этим данные ПРООН на 2025 г. по принятому варианту (Глобальный Баланс) были уменьшены для развивающихся стран на 20–30% и для развитых стран — на 40–60%.

Величины промышленного водопотребления на 2010 г. приняты по интерполяции с учетом имеющихся по ряду стран национальных прогнозов, а в случае отсутствия — с учетом прогноза ВВП для сценария Глобальный Баланс, приведенного ПРООН.

Водохранилища. Дополнительные потери воды на испарение с водохранилищ оценивались по методике, изложенной выше, в разд. 9.3.3.

С использованием упрощенной схемы расчета оценки потерь на испарение с водохранилищ для всех природно-экономических регионов были выполнены в ГГИ в 1996–1997 гг. При этом исходные данные по водохранилищам (площадь, объем, место расположения, годы строительства и другие характеристики) были взяты из обобщающих монографий (Корзун (ред.), 1974; Авакян и др., 1987; Gleick, 1993; World Bank, 1993). Все эти данные в целом дали информацию по водохранилищам мира на уровень 1980–1985 гг. Нормы испарения с водной поверхности и с суши определялись по картам Мирового Атласа, прилагаемым к работе (Корзун (ред.), 1974). Общий объем дополнительных потерь на испарение вычислялся в целом для каждого региона путем суммирования данных по каждому крупному водохранилищу с объемом $> 5 \text{ км}^3$ и увеличения полученного результата на 20%, т. е. принималось, что крупные водохранилища включают в себя примерно 80% суммарного объема и площади водной поверхности всех водохранилищ мира. Значения коэффициентов K_1 и K_2 были приняты равными 0,80 и постоянными для всех регионов.

На перспективу потери на испарение с водохранилищ каждого региона оценивались с учетом выявленных за период 1950–1985 гг. тенденций и имеющихся долгосрочных планов сооружения крупных водохранилищ в разных странах и регионах, а также их физико-географических особенностей. Полученные таким образом данные приведены ниже, в разд. 12.8, а также опубликованы в работах (Shiklomanov (ed.), 1997; Shiklomanov, 2000; Shiklomanov (ed.), 2003).

В 2001 г. были выполнены новые, более детальные оценки роли водохранилищ мира в регулировании возобновляемых водных ресурсов и в потреблении воды для всех природно-экономических регионов и избранных стран мира (Shiklomanov, Balonishnikova, 2003; Балонишникова, 2004, 2007).

Расчеты выполнялись также, по упрощенной схеме, но с использованием Базы данных ГГИ по водохранилищам мира, где приведены более полные сведения по водохранилищам, особенно построенным в 1980–1990-е гг., а также в 1940–1950-е гг.

При расчетах дополнительных потерь на испарение с водохранилищ главная задача состоит в определении площади водной поверхности водохранилищ. К сожалению, в различных публикаци-

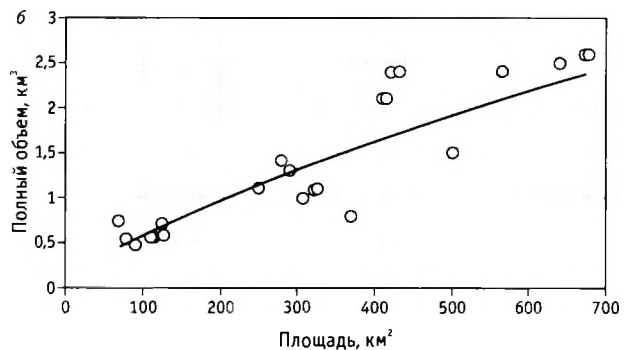
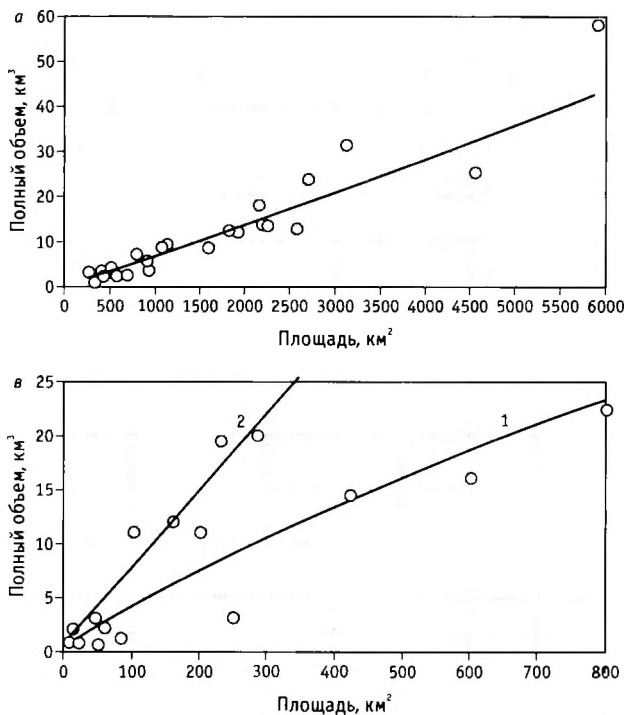


Рис. 12.18. Зависимость между объемом и площадью водной поверхности водохранилищ, расположенных в равнинных (а, б), предгорных (1в) и горных (2в) регионах

ях (национальных и международных), эти чрезвычайно важные данные приводятся далеко не по всем водохранилищам или не приводятся вообще. Наиболее полная (85–100%) информация по площадям водной поверхности имеется для водохранилищ России и стран бывшего СССР, США, Африки, Австралии. Для водохранилищ Азии, Южной и Центральной Америки, Канады эта информация имеется менее чем для половины водохранилищ.

При отсутствии данных о площадях водной поверхности водохранилищ, эта величина определялась косвенным путем — по зависимости площади от полного объема водохранилищ. Такие зависимости строились отдельно для разного типа водохранилищ, расположенных в различных физико-географических условиях: для равнинных водохранилищ озерного типа (рис. 12.18, а, б); для водохранилищ предгорных районов и плоскогорий и для горных водохранилищ (12.18, в).

Выполненный анализ региональных соотношений между площадями и объемами водохранилищ показал, что для озерных равнинных водохранилищ на 1 км³ полного объема приходится 150–200 км² площади водной поверхности, для горных водохранилищ эта величина находится обычно в пределах 10–20 км². Водоохранилища полугорных районов и плоскогорий имеют промежуточные показатели (40–80 км²); этим показателям в достаточной степени соответствуют и данные по русловым и долинным водохранилищам равнинных территорий.

При расчетах для каждой страны и природно-экономического региона величины суммарной площади водной поверхности водохранилищ, так-

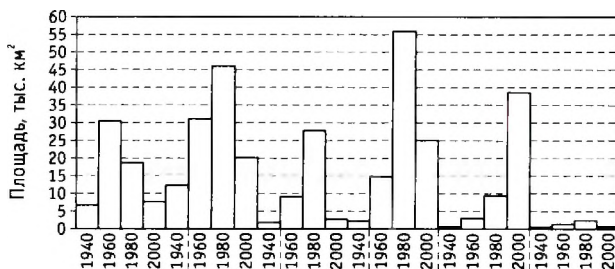


Рис. 12.19. Приращение общих площадей водохранилищ по континентам за различные периоды: до 1940 г., 1941–1960, 1961–1980, 1981–2000 гг.

же определялись за периоды до 1940 г., 1941–1960, 1961–1980, 1981–2000 гг. Изменение площадей за указанные периоды для всех континентов приведено на рис. 12.19. В настоящее время наибольшие площади водной поверхности водохранилищ имеются в Северной Америке и Азии, наименьшие — в Австралии и Океании.

По оценке ГГИ, на уровень 2000 г. общая площадь водной поверхности всех водохранилищ в мире составляет примерно 362 тыс. км², суммарный полный объем — 6370 км³, суммарный полезный объем — 3950 км³. Распределение объемов и площадей водной поверхности водохранилищ по всем природно-экономическим регионам мира представлено на рис. 12.20.

Общие потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ в современный период составляют примерно 170 км³. При этом наибольшие потери воды наблюдаются в Азии (60 км³), в Африке (37 км³) и Северной Америке (37 км³) (табл. 12.15).

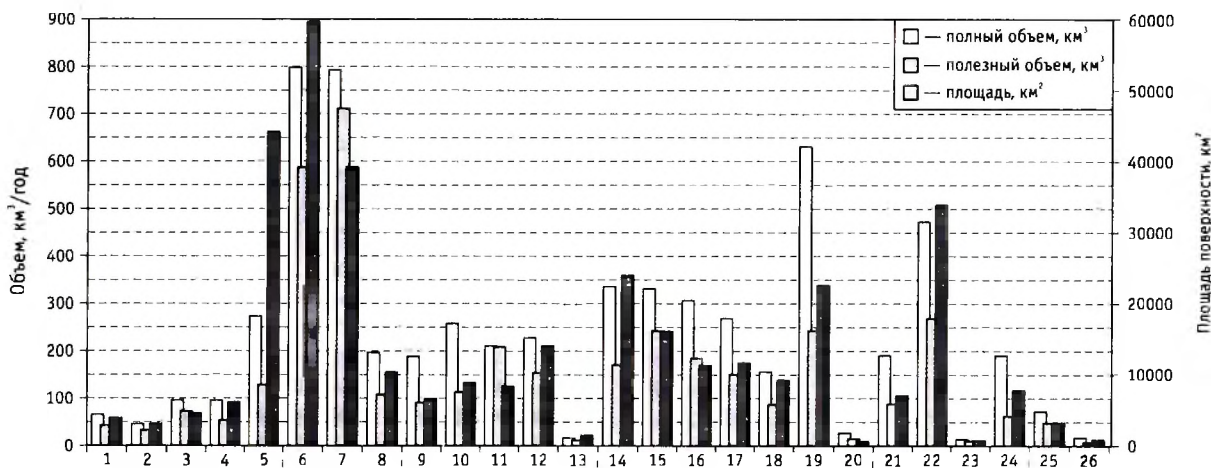


Рис. 12.20. Объемы и площади водохранилищ по природно-экономическим регионам мира

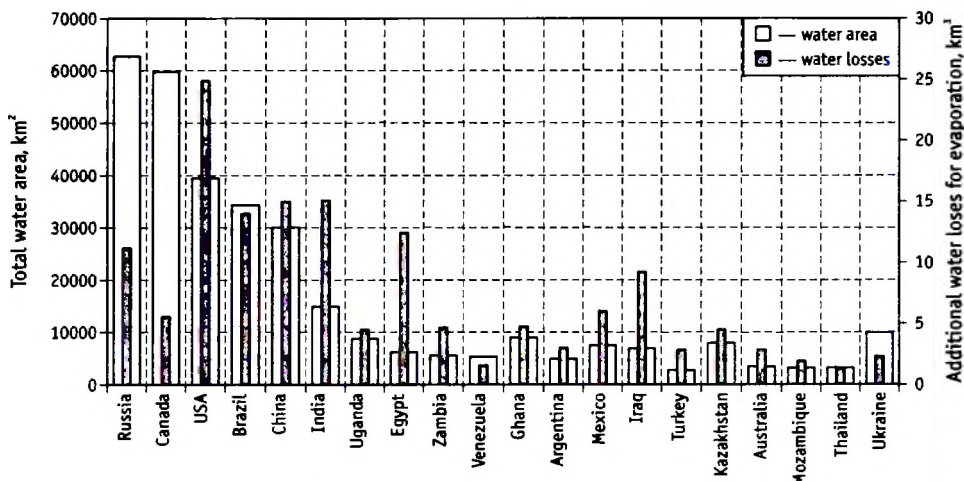


Рис. 12.21. Страны с наибольшими площадями водохранилищ и дополнительными водными потерями на испарение

Максимальные потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ отмечены в США, Индии, Китае, Бразилии и Египте; в сумме эта величина равна $81 \text{ км}^3/\text{год}$, что составляет 48% мировой величины потерь на дополнительное испарение с водохранилищ.

На рис. 12.21 представлены в порядке уменьшения крупнейшие площади водной поверхности и величины потерь воды на испарение с водохранилищ по 20 странам, в которых сосредоточено около 90% всей территории, занятых водохранилищами мира, и формируется около 86% всех потерь воды на дополнительное испарение.

Результаты оценок соотношений потерь воды на испарение с водохранилищ и объемов полного и безвозвратного водопотребления, характеризующих водохранилища как водопотребителей, приведены по континентам за расчетные временные интервалы в табл. 12.15. В соответствии с приведенными данными, колебания потерь воды на испарение в процентах от водопотребления на хозяйственные нужды очень велики (от 1% в Европе и Азии до 50% в Африке). Это объясняется, главным образом, двумя причинами — климатическими особенностями континентов и различным уровнем социально-экономического развития и численностью населения, определяющими объемы водопотребления. Еще большие колебания в этих соотношениях наблюдаются по отдельным регионам мира и странам. Наивысшие значения (сотни и даже тысячи процентов) отношения потерь воды на испарение к водопотреблению выявлены в слаборазви-

тых странах — Уганде, Гане, Замбии, Мозамбике, в которых объем водопотребления на различные хозяйственные нужды довольно низкий, однако на их территории сосредоточены крупнейшие водохранилища. В развивающихся странах Азии с большими орошаемыми площадями (Китай, Индия, Пакистан, Индонезия, Тайланд и др.) потери на испарение с водохранилищ по отношению к общему водопотреблению обычно невелики (в пределах 0,5–5%) и зависят от площади водной поверхности водохранилищ.

В развитых промышленных странах величины соотношения потерь на испарение к водопотреблению меняются в широких пределах и зависят не столько от площади водохранилищ, сколько от климатических условий и объемов используемой на хозяйственные нужды воды. В северных странах, имеющих крупные водохранилища и низкое водопотребление (главным образом, безвозвратное), соотношение потерь на испарение и водопотребления может быть очень значительным (например, Канада, Россия, Финляндия, Норвегия). В странах западной, центральной и южной Европы, где нет крупных водохранилищ, но объем водопотребления достаточно высок, потери на испарение не существенны, а водохранилища не имеют особенного значения как потребители воды.

Водообеспеченность. Величины потенциальной и реальной водообеспеченности оценивались по методике, изложенной в разд. 10.5.

При этом при расчетах водообеспеченности стран возникает проблема — какие принимать

**Водопотребление и потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ
по континентам на различные расчетные уровни**

Континент	Площадь водосбора, млн км ²	Расчетный уровень, годы	Водопотребление полное/безвозвратное, км ³ /год	Суммарная площадь водохранилищ, км ²	Объем дополнительных потерь на испарение с водохранилищ, км ³ /год	Отношение потерь на испарение к водопотреблению	
						полному	безвозвратному
Европа	10,46	1940	95,7/38,0	6514	1,28	1,34	3,37
		1960	220/82,4	36 950	8,26	3,75	10,0
		1980	438/165	55 743	12,7	2,90	7,70
		2000	447/182	63 118	14,4	3,20	7,90
Северная и Центральная Америка	24,3	1940	278/95,4	12 300	6,40	2,30	6,70
		1960	396/123	43 350	17,8	4,50	14,5
		1980	649/194	89 570	33,3	5,10	17,1
		2000	674/212	109 620	36,8	5,50	17,4
Африка	30,1	1940	49,2/32,9	1425	2,50	5,10	7,60
		1960	88,2/60,2	10 458	7,37	8,30	12,2
		1980	123/82,3	38 107	35,0	28,4	42,5
		2000	176/111	40 536	37,0	21,0	33,3
Азия	43,5	1940	682/437	1760	1,49	0,22	0,34
		1960	1156/744	16 165	10,9	0,94	1,50
		1980	1702/1045	72 001	45,5	2,70	4,40
		2000	2276/1377	97 063	59,6	2,60	4,30
Южная Америка	17,9	1940	32,5/22,2	127	0,056	0,17	0,25
		1960	64,9/38,8	2988	1,30	2,00	3,40
		1980	109/58,7	12 269	8,10	7,40	13,8
		2000	163/78,0	50 624	20,5	12,5	26,3
Австралия и Океания	8,95	1940	6,80/3,30	493	0,35	5,10	10,6
		1960	13,8/6,50	1676	1,16	8,40	17,8
		1980	20,4/9,60	3820	2,62	12,8	27,3
		2000	27,6/13,6	4365	3,00	10,8	22,0
Мир в целом		1940	1144/629	21 533	11,9	1,00	1,90
		1960	1941/1055	105 817	45,6	2,30	4,30
		1980	3043/1554	263 537	135,2	4,40	8,70
		2000	3764/1974	356 348	169,5	4,50	8,60

водные ресурсы: только местные, формирующиеся на данной территории, или суммарные, т. е. с учетом притока из соседних территорий. В первом случае очевидно занижение величин водообеспеченности, поскольку практически всегда хотя бы частично используется вода, поступающая с соседних территорий. Во втором случае явно происходит завышение водообеспеченности, поскольку на воду притока претендуют и соседние территории.

Указанная проблема не имеет единого решения для всех территорий и, очевидно, должна решаться по специальным соглашениям между странами. Поскольку такие соглашения по большинству

стран мира отсутствуют, в расчетах для оценки водообеспеченности каждой административной территории принимались величины местных водных ресурсов, суммируемые с половиной притока пресной воды, поступающей из соседних территорий. Таким образом, условно было принято, что каждый регион (страна) может использовать половину водных ресурсов, которые поступают с соседних территорий. Это относительно условная величина, но она позволяет достаточно объективно исследовать динамику водообеспечения по всем регионам и странам мира.

12.6.2. Анализ оценок и прогнозов мирового водопотребления

В течение последних 30 лет специалистами разных стран сделано немало попыток оценить современное водопотребление в мире на различные хозяйственные нужды и дать прогноз на ближайшую и довольно отдаленную перспективу. Ввиду отсутствия по большинству стран фактических данных по водопотреблению (и тем более обоснованных прогнозов на перспективу) и больших трудностей по сбору и обобщению имеющейся информации в глобальном масштабе, большинство исследователей использовали, в основном, косвенные приемы оценки необходимых затрат воды на хозяйственные нужды по континентам и для Земли в целом. Эти приемы основаны на анализе главных факторов, определяющих объемы водопотребления: численность городского и сельского населения, динамика промышленного производства в развитых и развивающихся странах и тенденции их водообеспечения, развитие сельскохозяйственного производства и рост площадей орошаемых земель и т. п. При этом, как правило, данные непосредственного учета водопотребления использовались лишь по отдельным странам и отраслям экономики.

Анализ и сравнение полученных выводов представляют собой весьма нелегкую задачу ввиду большой неоднородности приводимых результатов. Одни авторы приводят результаты расчета только суммарного водопотребления в целом по миру, другие дифференцируют водопотребление по континентам или отдельным потребителям; одни дают оценку и современного и перспективного водопотребления, другие только современного или только перспективного. Большинство исследователей не дает оценок безвозвратного водопотребления и не учитывает затраты воды, связанные с дополнительным испарением с крупных водохранилищ. Если добавить к этому, что практически все авторы используют различные исходные данные и предположения для оценок за прошедший период и на перспективу и не описывают применяемые ими методы, то станет очевидным сложность сопоставления результатов и анализ надежности выводов, полученных разными авторами. Тем не менее такой анализ применительно к данным по динамике суммарного водопотребления в мире был выполнен впервые в 1987 г. (Шикломанов, Маркова, 1987), затем в 1997 г. (Shiklomanov, ed., 1997) и более де-

тально представлен в монографии (Shiklomanov, ed.), 2003). Ниже даются краткие выводы выполненного анализа.

Результаты оценок и прогнозов полного и безвозвратного водопотребления в мире по данным различных исследователей представлены на рис. 12.22 и 12.23.

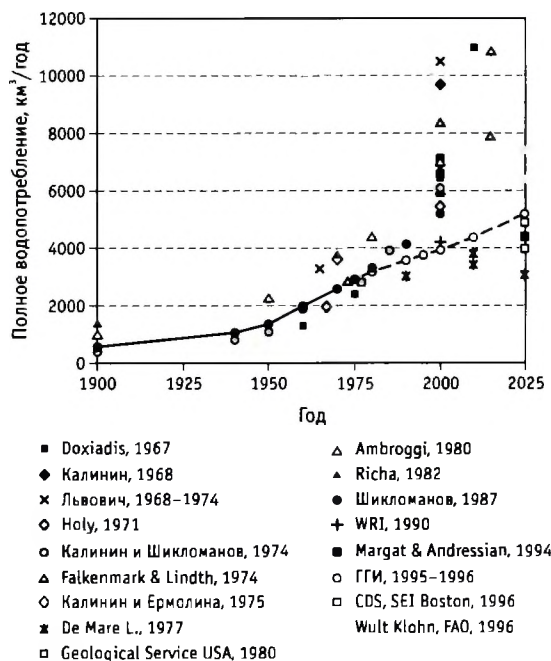


Рис. 12.22. Водопотребление в мире по данным различных авторов

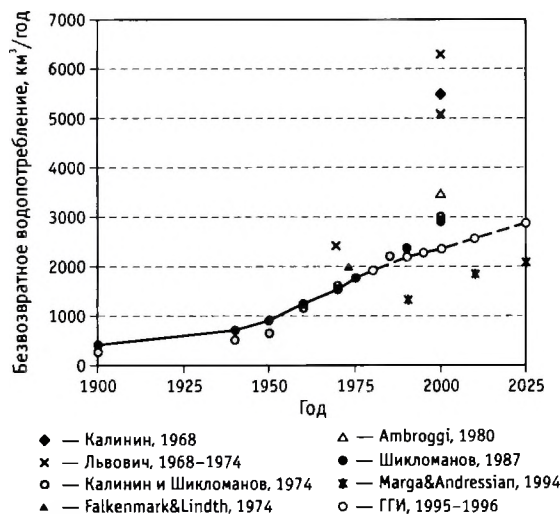


Рис. 12.23. Безвозвратное водопотребление в мире по данным различных авторов

Анализируя представленные данные, можно сделать следующие выводы, касающиеся результатов, полученных в 1960–1980-е гг.:

1960-е — начало 1970-х гг. (Doxiadis, 1967; Калинин, 1968; Львович, 1969–1974; Holy, 1971). Ввиду недостаточного количества фактических данных, оценки даже современного суммарного мирового водопотребления крайне приближенны; оценки на перспективу предусматривали экспоненциальный рост водопотребления и были очень сильно завышены.

1970-е — начало 1980-х гг. (Калинин и Шикломанов, 1974; Falkenmark, Lindth, 1974; Ермолина, Калинин, 1975; De Mare, 1977; Barney, 1980; Ambroggi, 1980; Rieha, 1982). Оценки современного мирового водопотребления, в том числе отдельных водопотребителей, уже достаточно надежны, однако имеет место значительный разброс оценок по континентам и особенно по регионам мира. Оценки на перспективу остаются по-прежнему очень завышенными.

Вторая половина 1980-х гг. (Шикломанов, Маркова, 1987). Достаточно надежные оценки современного водопотребления по континентам и природно-экономическим регионам. Оценки на перспективу остаются завышенными, но это завышение уже не столь значительно и в основном объясняется неисполнением долгосрочных планов развития орошения во многих странах мира. При перспективных оценках уже учитываются некоторые тенденции стабилизации и даже уменьшения водозаборов на нужды промышленности и теплоэнергетики в развитых странах мира.

Отметим также, что во все периоды, в том числе до самых последних лет, в мире имеются весьма ограниченные как современные, так и перспективные данные по безвозвратному водопотреблению (см. рис. 12.23). Большинство исследователей проблем использования пресных вод в мире этих данных не имеет, не приводятся они и в таких широко известных обобщающих и периодических публикациях, как Gleick (1993; 1998), WRI (1992; 1996; 2000) и др. Данных по безвозвратному водопотреблению не только меньше по сравнению с данными по водозабору пресных вод, но они и менее детальные и точность их невысока. Все это существенно затрудняет надежную оценку реальной водообеспеченности отдельных регионов и стран мира, а также исследование влияния водопотребления на качество воды в водоемах и водотоках.

Долгосрочные прогнозы мирового водопотребления, выполненные в 1990-е гг., уже в значительной мере учитывают современные тенденции резкого уменьшения темпов роста орошаемых площадей в большинстве стран мира и стабилизации или даже уменьшения промышленного водопотребления в развитых странах. Принимаются во внимание при прогнозах и предпринимаемые или планируемые мероприятия по экономии водных ресурсов и защите природных вод от загрязнения.

С учетом изложенных выше факторов, Институт мировых ресурсов (WRI) в 1992 г. оценил объем мирового водопотребления на 2000 г. примерно в 4200–4400 км³/год (см. рис. 12.23).

В 1994 г. французскими исследователями были представлены прогнозные оценки полного и безвозвратного водопотребления для 30 регионов мира на 2010 и 2025 гг. по сравнению с данными, относящимися к концу 1980-х гг. (Andreassian, 1994; Marqat, 1994). Авторы использовали чрезвычайно упрощенный подход к оценке водопотребления на коммунальные нужды, орошение и промышленность на основе обобщенных комплексных показателей (численность населения и площадь орошения), постоянных для всех стран коэффициентов и произвольно заданных предпосылок на будущее. Например, для всех стран и регионов мира без учета их физико-географических и социально-экономических условий было принято, что безвозвратное водопотребление на орошение составляет 75%, а на промышленность 10% от водозабора. При этом величины водозабора на теплоэнергетику вообще не включались в общий объем водопотребления. При расчетах на перспективу принималось, что к 2010 г. все развитые страны мира (кроме США) уменьшат величины удельного промышленного водопотребления на 40%, а к 2025 г. — на 50%. Последние предположения вряд ли реальны и противоречат данным ПРООН (Stztrepes, 1995) по оценке динамики промышленного водопотребления по странам мира на перспективу.

Результаты прогнозных оценок французских специалистов представлены на рис. 12.22. Даже по максимальному варианту они существенно меньше всех ранее выполненных оценок, что объясняется, главным образом, занижением промышленного водопотребления и неучетом водозаборов теплоэнергетикой. Кроме того, в этих расчетах не принимаются во внимание затраты воды на дополнительное испарение с водохранилищ и на сельскохозяйственное водоснабжение. В связи с изложенным, для

континентов и, особенно, для природно-экономических регионов результаты оценок и прогнозов французских исследователей будут значительно отличаться от более детальных оценок ГГИ, выполненных на основе исходных данных и методических подходов, изложенных в разд. 12.6.1. Несмотря на это, результаты критического анализа современного состояния водопотребления в мире и его прогнозирования, выполненные проф. Маргат, материалы по разным странам и регионам, приведенные в его работе (Margat, 1994), представляются чрезвычайно интересными и полезными для всех специалистов, занимающихся проблемами оценки глобального водопотребления на перспективу.

Новые данные ГГИ по динамике мирового водопотребления с прогнозом до 2025 г. были впервые представлены в конце 1995 г. в ЮНЕСКО на совещании экспертов по мировым водным ресурсам и опубликованы в 1997 г. (Shiklomanov, 1997). В соответствии с этими данными, на 1995 г. суммарное водопотребление в мире составляло 3790 км³/год, безвозвратное — 2070 км³/год; на перспективу до 2025 г. ожидается увеличение полного водопотребления до 5200 км³/год и безвозвратного — до 2800 км³/год. Указанные величины на будущее получены при условии стационарной климатической ситуации на каждом континенте и в каждом природно-экономическом регионе. Эти прогнозы основаны на анализе использования воды в регионах и странах за последние десятилетия (после 1960 г.) с учетом динамики численности населения, развития экономики, имеющих тенденций в улучшении технологии использования воды в промышленности и сельском хозяйстве. То есть, предполагается развитие водопотребления в регионах и странах мира на ближайшие 25–30 лет по модели предшествующих десятилетий. Этот сценарий получил название Условный Сценарий (УС) ГГИ. По всей видимости, это наиболее реальный сценарий, поскольку он предполагает сохранение в перспективе того же отношения к использованию пресных вод в странах мира, какое имеет место в настоящее время.

Приведенные прогнозные величины водопотребления по Условному Сценарию ГГИ относятся к средним климатическим условиям (без учета возможных антропогенных изменений глобального климата) и к наиболее вероятному сценарию развития мировой экономики. С учетом неопределенностей развития экономики, прогнозов численности населения и климатической ситуации, экспертно можно полагать, что на уровень 2025 г. суммарное

полное водопотребление в мире будет находиться в пределах $\pm 10\text{--}12\%$ от приведенной средней величины, т. е. составит от 4600 до 5800 км³/год.

В 1996 г., в связи с подготовкой доклада по оценке состояния и перспектив использования пресных вод в мире для Комиссии по устойчивому развитию ООН, Международной группой экспертов под эгидой Стокгольмского института окружающей среды (СИОС(SEI)) были разработаны прогнозы мирового водопотребления на 2025 г. (UN/WMO/SEI, 1997).

Одновременно (в 1996 г.) прогноз водопотребления на 2025 г. был разработан ФАО, который исходил из потребностей в пресной воде для обеспечения продуктами питания растущего населения Земли.

Величины прогнозов СИОС и ФАО на 2025 г. показаны на рис. 12.22. Как видим, эти, вероятно, наиболее обоснованные с разных позиций долгосрочные прогнозы, существенно различаются между собой (в среднем от 4500 до 7000 км³/год на уровень 2025 г.). Полученные ранее и независимо прогнозные оценки ГГИ по Условному Сценарию (УС) находятся между крайними величинами прогнозов СИОС и ФАО, что, в общем, свидетельствует об их достаточной достоверности. Более детальный анализ данных ГГИ по динамике мирового водопотребления и водообеспеченности и их распределения по территории представлен ниже. При этом на графиках и в таблицах все оценки на перспективу для сравнения приводятся не только по Условному сценарию, но и по разработанному позднее в ГГИ так называемому сценарию Устойчивого развития (СУР), который предполагает в перспективе существенное повышение эффективности использования водных ресурсов всеми потребителями. Описание этого сценария приведено ниже, в разд. 12.8.

12.6.3. Динамика водопотребления по континентам

Динамика водопотребления по континентам и в целом для всего мира за период текущего столетия и на перспективу до 2025 г., полученная на основании обобщения данных по природно-экономическим регионам мира, представлена в табл. 12.16 и на рис. 12.24. Полное водопотребление в мире на уровень 2000 г. составляет примерно 3970 км³/год, безвозвратное — 2180 км³/год (55% от полного).

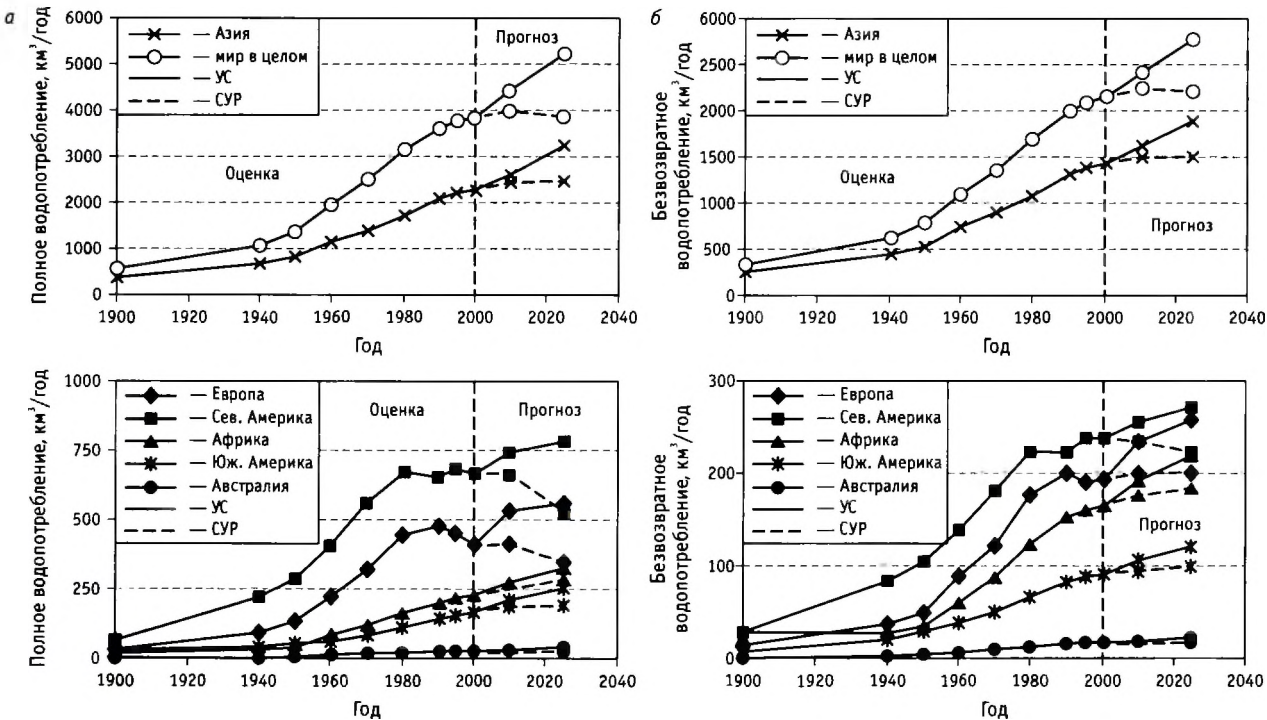


Рис. 12.24. Динамика водопотребления в мире по континентам:
 а — полное водопотребление; б — безвозвратное водопотребление

Наибольший рост водопотребления в мире начался во второй половине прошедшего столетия. Если за первые 50 лет годовое водопотребление выросло примерно на 800 км^3 , или на 160 км^3 за каждые 10 лет, то в последующие три десятилетия прирост составлял уже по $550\text{--}650 \text{ км}^3$ за каждые 10 лет, т. е. вырос почти в четыре раза. Это было обусловлено быстрым ростом численности населения, орошаемых площадей, бурным развитием промышленности в ходе научно-технической революции. После 1980 г. темпы роста мирового водопотребления существенно уменьшились в результате сокращения прироста орошаемых площадей и повышения эффективности использования пресных вод во многих, в основном развитых странах мира.

В перспективе по Условному Сценарию полное водопотребление будет расти на 10–12% за каждые десять лет и достигнет к 2025 г. величины примерно $5200 \text{ км}^3/\text{год}$ (увеличение в 1,37 раза); безвозвратное водопотребление увеличится в меньшей степени — в 1,25 раза.

В настоящее время около 57% полного и 70% безвозвратного водопотребления в мире приходится на Азию, где расположены основные орошаемые

земли планеты и проживает большая часть мирового населения. Динамика водопотребления в последние десятилетия весьма различна для Европы и Северной Америки, где находятся в основном развитые страны, и для других континентов (рис. 12.25). Начиная с 1980 г. суммарное водопотребление в Европе и Северной Америке стабили-

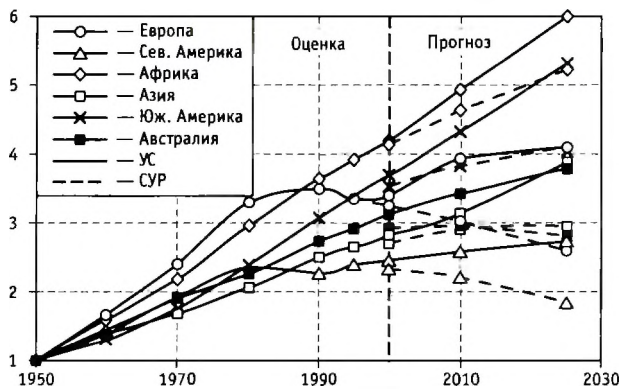


Рис. 12.25. Динамика водопотребления по континентам за период 1950–2025 гг. (водопотребление в 1950 г. принято равным 1)

Таблица 12.16

Динамика водопотребления в мире по континентам (км³/год)

Континент	Оценка									Прогноз			
										УС		СУР	
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010	2025	2010	2025
Европа	37,5	96,1	136	226	325	449	482	455	463	535	559	416	353
	13,8	38,1	50,5	88,9	122	177	198	189	197	234	256	198	201
Северная Америка	69,6	221	287	410	555	676	653	686	705	744	786	634	527
	29,2	83,8	104	138	181	221	221	237	243	255	269	234	223
Африка	40,7	49,2	55,8	89,2	123	166	203	219	235	275	337	259	292
	27,5	32,9	37,8	61,3	87,0	124	150	160	170	191	220	176	182
Азия	414	682	843	1163	1417	1742	2114	2231	2357	2628	3254	2476	2487
	249	437	540	751	890	1084	1315	1381	1458	1593	1876	1509	1470
Южная Америка	15,1	32,6	49,3	65,6	87,0	117	152	167	182	213	260	190	201
	10,8	22,3	31,7	39,6	51,1	66,7	81,9	89,4	96,0	106	120	97	99
Австралия и Океания	1,60	6,83	10,4	14,5	19,9	23,5	28,5	30,4	32,5	35,7	39,5	30,8	29,1
	0,58	3,30	5,04	7,16	10,3	12,7	16,4	17,5	18,7	20,4	22,3	18,9	18,8
Всего (округленно)	579	1088	1382	1968	2526	3175	3633	3788	3973	4431	5235	4006	3889
	331	617	768	1086	1341	1686	1982	2074	2182	2399	2764	2233	2194

Примечание. Первая строка — суммарное водопотребление, вторая — безвозвратное водопотребление.

зировалось и даже несколько уменьшилось. Это произошло, главным образом, за счет значительного уменьшения промышленного водопотребления в результате внедрения более эффективных технологий использования пресной воды. На других континентах за весь период с 1950 г. продолжается интенсивный рост водопотребления.

На перспективу до 2025 г. по УС наиболее интенсивный рост водопотребления ожидается в Африке и Южной Америке (в 1,5–1,6 раза), наимень-

ший — в Европе и Северной Америке (примерно в 1,2 раза).

Роль отдельных водопотребителей в динамике полного и безвозвратного водопотребления в мире, а также рост численности населения и орошаемых площадей показаны в табл. 12.17 и на рис. 12.26. На 2000 г. сельскохозяйственное водопотребление составляет 66% от полного и 85% от безвозвратного водопотребления в мире. Важно отметить, что до 1970 г. прирост орошаемых земель в мире превышал

Таблица 12.17

Динамика водопотребления в мире по секторам экономики (км³/год)

Сектор	Оценка									Прогноз			
										УС		СУР	
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010	2025	2010	2025
Население (миллион)			2542	3029	3603	4410	5285	5735	6181	7113	7877	7113	7877
Площадь орошаемых земель (млн га)	47,3	75,9	101	142	169	198	243	253	264	288	329	286	306
Сельское хозяйство	513	895	1080	1481	1743	2112	2425	2504	2605	2817	3189	2646	2535
	321	586	722	1005	1186	1445	1691	1753	1834	1987	2252	1867	1793
Коммунальное водопотребление	21,5	58,9	86,7	118	160	219	305	344	384	472	607	422	456
Промышленность	4,61	12,5	16,7	20,6	28,5	38,3	45,0	49,8	52,8	60,8	74,1	61,0	63,0
	43,7	127	204	339	547	713	735	752	776	908	1170	731	673
Водоохранилища	4,81	11,9	19,1	30,6	51,0	70,9	78,8	82,6	87,9	117	169	97,0	113
	0,30	7,00	11,1	30,2	76,1	131	167	188	208	235	269	208	225
Всего (округленно)	579	1088	1382	1968	2526	3175	3633	3788	3973	4431	5235	4006	3889
	331	617	768	1086	1341	1686	1982	2074	2182	2399	2764	2233	2194

Примечание. Первая строка — суммарное водопотребление, вторая — безвозвратное водопотребление.

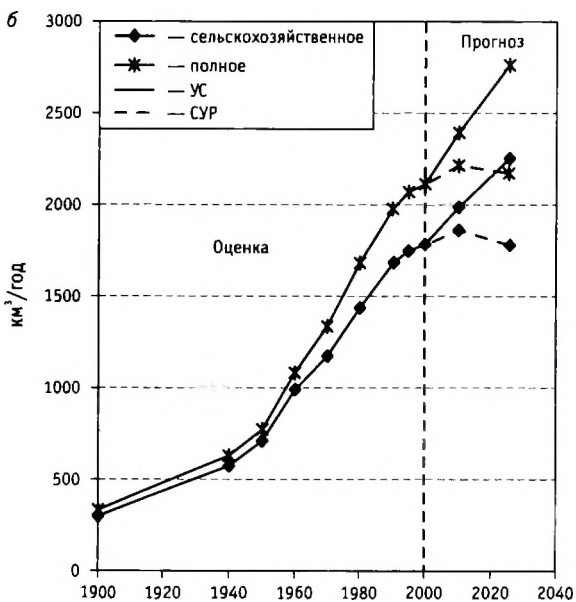
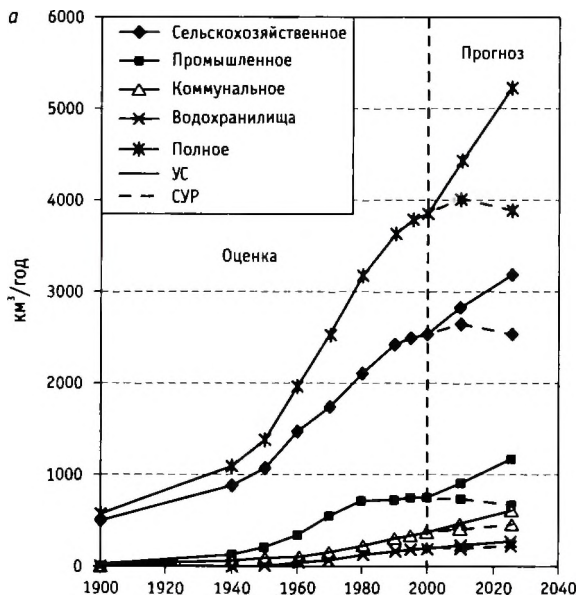
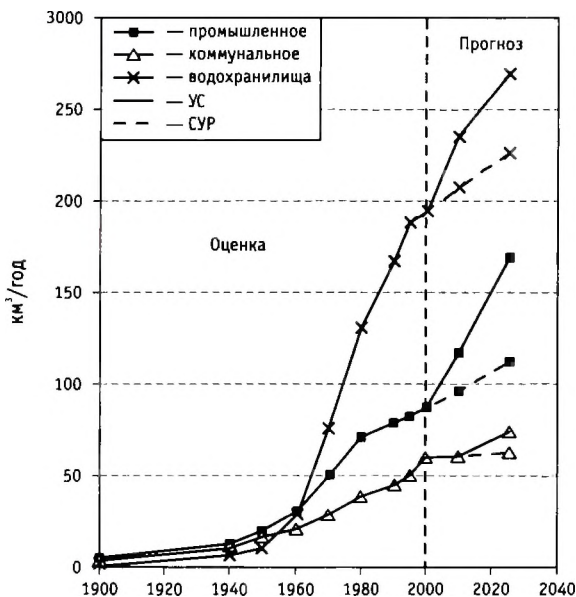


Рис. 12.26. Динамика полного и безвозвратного водопотребления в мире по различным видам хозяйственной деятельности в соответствии с Условным Сценарием и Сценарием «Устойчивого развития»:

а — полное водопотребление; *б* — безвозвратное водопотребление



прирост численности населения; после 1970 г. наблюдается обратная картина и количество орошаемых земель на одного жителя постепенно уменьшается.

Отметим также, что за последние 45 лет эффективность использования воды в сельском хозяйстве повысилась очень незначительно: если в 1950 г. в среднем на 1 га орошаемых земель затрачивалось 10 700 м³ воды в год, то в 2000 г. это значение составило 9900 м³, т. е. уменьшилось всего на 7,5%.

В перспективе роль сельского хозяйства уменьшается незначительно в общем объеме водопотребления, в основном, за счет ожидаемого более интенсивного роста других водопотребителей, прежде всего промышленного и коммунального водопотребления. Так, если к 2025 г. по УС ожидается увеличение водопотребления сельским хозяйством в 1,27 раза, то промышленностью в 1,5 раза, то коммунальное водопотребление в мире возрастет примерно в 1,8 раза. В суммарных безвозврат-

ных потерях воды в мире заметную роль играет дополнительное испарение с водохранилищ; оно превышает безвозвратное водопотребление промышленностью и коммунальным хозяйством, вместе взятыми.

По уточненным данным, площадь орошения в мире в 2000 г. составляет 264 млн га; к 2010 г. по УС ожидается ее увеличение примерно до 290 млн га и к 2025 г. — до 330 млн га.

В соответствии с приведенными в табл. 12.16 и на рис. 12.25 данными, близкую структуру современного и перспективного водопотребления имеют Европа и Северная Америка. Здесь в общем объеме полного водопотребления весьма значительная роль принадлежит промышленности (41–45% на уровень 2000 и примерно столько же на перспективу по Условному Сценарию).

Что касается безвозвратного водопотребления, то и в Европе, и в Северной Америке ведущая роль принадлежит сельскому хозяйству, на долю которого приходится около 70% безвозвратного водопотребления.

В Азии, Африке и Южной Америке в структуре водопотребления ведущую роль играло и играет сельское хозяйство, по существу орошение. На уровень 2000 г. на долю орошения приходится 60–80% полного и 64–91% безвозвратного водопотребления. Эти показатели незначительно изменятся и к

2025 г., хотя к этому периоду по УС ожидается рост промышленного водопотребления на этих континентах в 2–3 раза. Тем не менее, доля промышленности в суммарном водопотреблении не превысит в Южной Америке 24%, в Азии — 15%, а в Африке — 6%. Отличительной чертой структуры водопотребления Африки является очень большая роль испарения с водохранилищ; на современный период и на перспективу оно составляет 23–25% от суммарного безвозвратного водопотребления на континенте.

12.6.4. Динамика водопотребления по природно-экономическим регионам

Динамика полного и безвозвратного водопотребления по природно-экономическим регионам мира в течение XX столетия и на перспективу представлена в табл. 12.18, а сравнение данных на 2000 и 2025 гг. на рис. 12.27 и 12.28. Величины водопотребления регионов очень неравномерно распределены по континентам и, как правило, не согласуются с величинами водных ресурсов. Например, в Европе 95% водопотребления приходится на южную и центральную часть континента; в Северной Америке на долю США приходится 73% водопотребления; в Австралии и Океании 89% водопо-

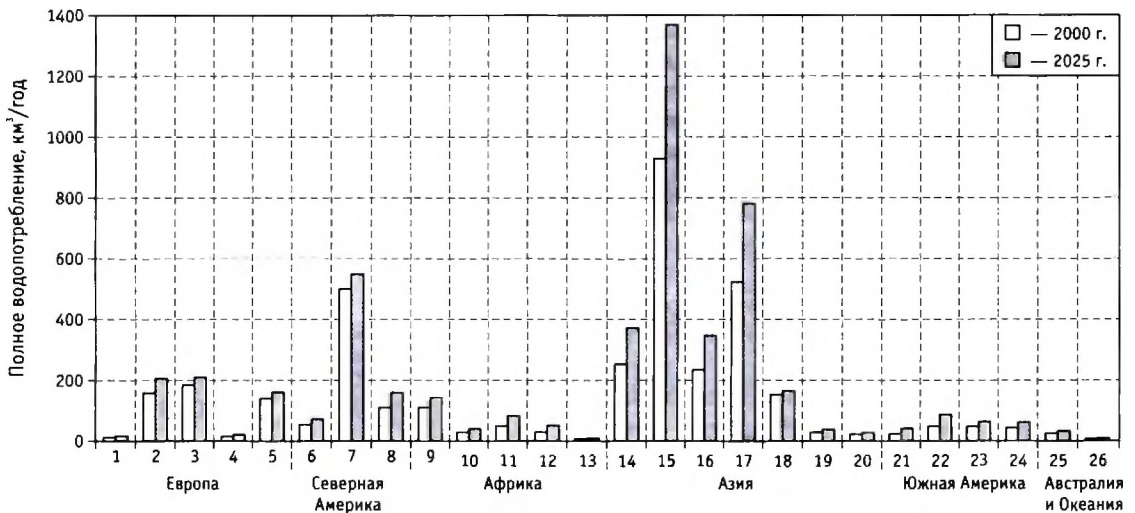


Рис. 12.27. Полное водопотребление природно-экономических регионов на уровень 2000 г. и 2025 г. по континентам:

1 — Северный; 2 — Центральный; 3 — Южный; 4 — север европейской части бывшего СССР; 5 — юг европейской части бывшего СССР; 6 — Канада и Аляска (Северный); 7 — США (Центральный); 8 — Центральная Америка (Южный); 9 — Северный; 10 — Южный; 11 — Восточный; 12 — Западный; 13 — Центральный; 14 — Северный Китай и Монголия; 15 — Южный; 16 — Западный; 17 — Юго-Восточный; 18 — Центральная Азия и Казахстан; 19 — Сибирь и Дальний Восток России; 20 — Закавказье; 21 — Северный; 22 — Восточный; 23 — Западный; 24 — Центральный; 25 — Австралия; 26 — Океания

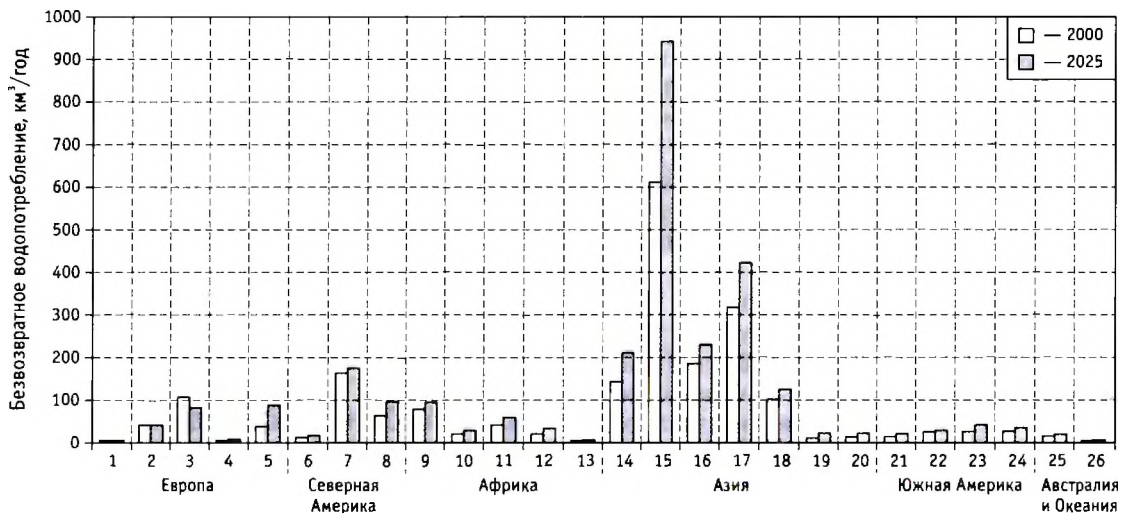


Рис. 12.28. Безвозвратное водопотребление природно-экономических регионов на уровень 2000 г. и 2025 г. по континентам: 1 — Северный; 2 — Центральный; 3 — Южный; 4 — север европейской части бывшего СССР; 5 — юг европейской части бывшего СССР; 6 — Канада и Аляска (Северный); 7 — США (Центральный); 8 — Центральная Америка (Южный); 9 — Северный; 10 — Южный; 11 — Восточный; 12 — Западный; 13 — Центральный; 14 — Северный Китай и Монголия; 15 — Южный; 16 — Западный; 17 — Юго-Восточный; 18 — Центральная Азия и Казахстан; 19 — Сибирь и Дальний Восток России; 20 — Закавказье; 21 — Северный; 22 — Восточный; 23 — Западный; 24 — Центральный; 25 — Австралия; 26 — Океания

требления приходится на Австралию. На Азиатском континенте наибольший объем водопотребления имеют регионы Южной Азии, куда, в частности входят Индия, Пакистан, Бангладеш, и Юго-Восточная Азия, где располагается значительная часть орошаемых площадей Китая.

В Африке наибольшее водопотребление имеет место в северной части (Северная Африка); на долю этого региона приходится 50% суммарного водопотребления континента. В Южной Америке водопотребление более или менее равномерно распре-

лено по регионам континента. Динамика роста водопотребления до 2025 г. существенно различается по регионам. В регионах с развитыми странами и со странами с ограниченными водными ресурсами увеличение водопотребления по УС ожидается на 15–35%, в регионах с развивающимися странами, имеющими достаточные водные ресурсы, рост водопотребления может составить 200–300%.

В качестве примера на рис. 12.29 и 12.30 представлена динамика водопотребления по регионам со странами, имеющими различные социально-

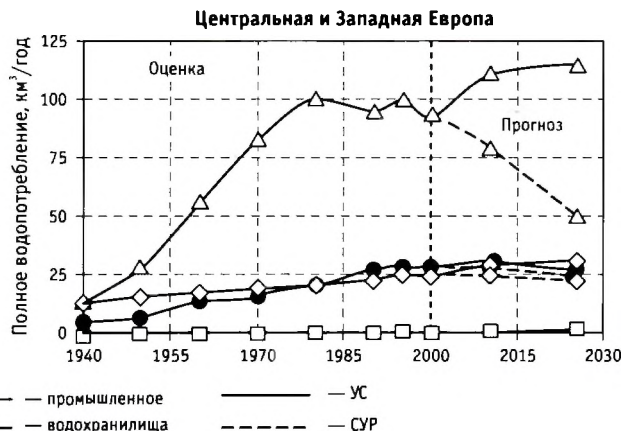
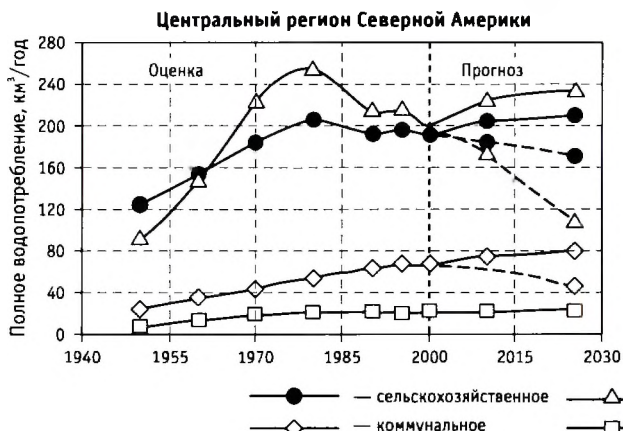


Рис. 12.29. Динамика полного водопотребления в Центральном регионе Северной Америки и Центральном регионе Европы по различным видам экономической деятельности

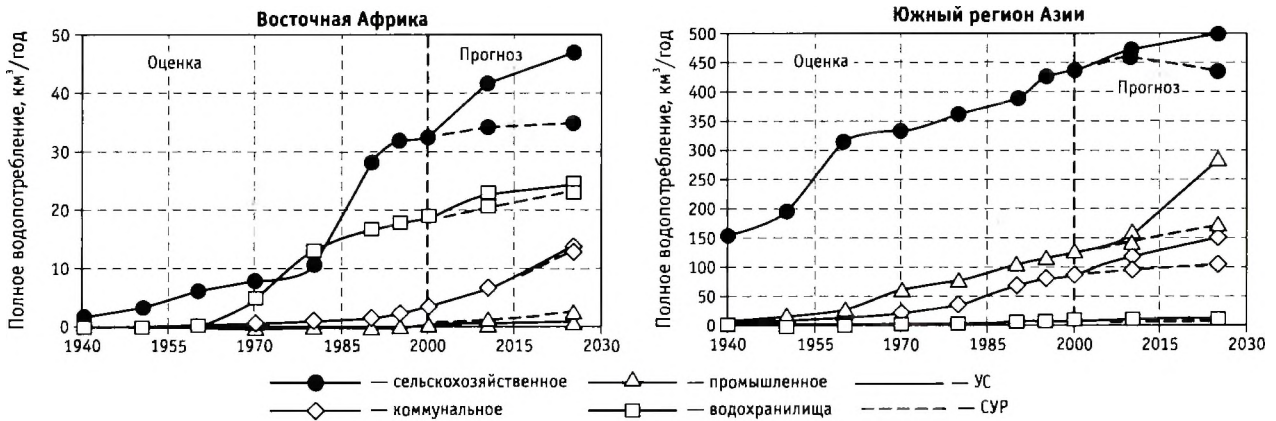


Рис. 12.30. Динамика водопотребления Восточного региона Африки и Южного региона Азии

экономические условия. Рис. 12.29 демонстрирует динамику полного водопотребления Центрального региона Северной Америки (США без Аляски) и Центральной и Западной Европы; это регионы с высокоразвитыми индустриальными странами. Динамика характеризуется интенсивным ростом водопотребления до 1970-х гг., затем происходит заметное снижение и стабилизация водопотребления, благодаря широкому внедрению водосберегающих технологий (в основном, в промышленности). В перспективе по УС следует ожидать стабилизации или незначительного увеличения водопотребления в связи с тем, что во многих отраслях экономики могут быть исчерпаны основные ресурсы экономии воды в технологических процессах.

Рис. 12.30 показывает динамику водопотребления в регионах с развивающимися странами Африки и Азии, которая характеризуется постоянным ростом водопотребления, но с различной интенсивностью, что объясняется различными темпами развития экономики и роста численности населения.

12.6.5. Водопотребление в странах мира

Приведенные выше, в табл. 12.18 и на рис. 12.27 и 12.28, данные по динамике водопотребления природно-экономических регионов отражают только самые общие тенденции, характерные для групп стран с различным климатом и уровнем социально-экономического развития. Для конкретных стран ситуация может быть весьма различной в зависимости от специфических особенностей развития

национальной экономики и климатических условий (например, влажные или сухие годы) рассматриваемого периода.

К сожалению, сколько-нибудь надежные данные по динамике водопотребления за многолетние периоды для большинства стран мира отсутствуют.

Более того, для всех стран мира отсутствуют и надежные средние данные по современному водопотреблению, хотя некоторые данные по водопотреблению в странах мира периодически публикуются Институтом мировых ресурсов (WRI, 1992; 1996; 2000). Не меньшие трудности возникают при использовании приведенных в этом разделе данных по водопотреблению, ввиду их большой неоднородности и малой достоверности. Это обусловлено тем, что они заимствованы из разных источников, определены по разным методам и исходным данным за разные годы, без должного критического анализа.

Например, в публикации (WRI, 2000) по континентам приведены данные по водопотреблению ГГИ (Shiklomanov, 1997), относящиеся к 1990 г., а по странам даны величины, заимствованные из разных источников за разные годы (с 1965 по 1997 г.). Поэтому сумма объемов водопотребления по странам, естественно, не совпадает с данными по континентам. Использование для каких-то обобщений и анализа таких данных без приведения их к единому временному периоду (например, к 1995 или 2000 гг.) вообще невозможно, поскольку они несравнимы между собой. В некоторых публикациях по отдельным странам мира приводятся данные по водным ресурсам и водопотреблению, которых просто не может быть. При этом полностью отсутствуют данные (по странам и континентам) по безвозвратному водопотреблению, которые в

Динамика полного водопотребления в мире, км³/год

№ региона	Континент, регион	Оценка									Прогноз			
											УС		СУР	
		1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010	2025	2010	2025
Европа		37,5	96,1	136	226	325	449	482	455	463	535	559	416	353
1	Северный	1,40	2,80	3,80	7,30	9,80	10,3	10,3	11,0	11,7	12,7	13,4	9,4	7,3
2	Западный и Центральный	12,8	33,7	51,5	87,2	120	142	146	154	161	172	176	132	99
3	Южный	16,1	40,2	60,0	95,3	120	157	177	186	194	204	204	174	149
4	Север ЕТ бывшего СССР	0,30	0,75	0,89	1,76	3,13	9,80	13,4	10,8	10,5	14,1	16,8	10,5	10,2
5	Юг ЕТ бывшего СССР	6,90	18,6	20,2	34,4	71,5	130	135	94,5	85,4	133	149	90	87
Северная Америка		69,6	221	287	410	555	676	653	686	705	744	786	634	527
6	Северный	2,60	8,80	13,2	19,2	26,1	41,4	52,2	55,8	58,4	64,9	73,7	47,9	34,7
7	Центральный	54,2	191	248	347	470	538	492	503	512	530	549	446	351
8	Южный	12,8	20,9	25,5	44,1	59,4	97,5	109	127	135	149	163	140	141
Африка		40,7	49,2	55,8	89,2	123	166	203	219	235	275	337	259	292
9	Северный	36,6	41,0	43,0	68,3	84,8	98,7	106	110	114	127	145	122	124
10	Южный	1,90	4,41	6,50	9,38	14,7	21,8	25,5	27,3	29,2	34,4	44,8	32,6	35,8
11	Восточный	1,04	2,10	3,70	7,20	13,6	25,3	46,6	52,6	58,5	71,2	85,7	62,5	73,7
12	Западный	1,00	1,50	2,30	3,93	8,74	18,4	23,2	26,5	29,8	37,5	52,4	37,8	50,7
13	Центральный	0,10	0,20	0,30	0,40	0,82	1,64	2,07	2,60	3,14	4,90	9,21	4,50	7,60
Азия		414	682	843	1163	1417	1742	2114	2231	2357	2628	3254	2476	2487
14	Северный Китай и Монголия	37,0	66,0	93,0	153	186	215	241	268	295	319	372	297	301
15	Южный	201	312	366	426	523	667	850	887	925	1025	1339	997	301
16	Западный	42,8	68,0	90,0	133	157	183	232	249	267	299	356	277	277
17	Юго-Восток	99,0	165	220	357	419	478	572	631	683	760	949	706	722
18	Центральная Азия и Казахстан	28,7	55,0	57,2	67,4	94,4	151	170	154	147	174	182	162	155
19	Сибирь и Дальний Восток России	0,61	4,90	5,62	10,4	16,3	25,4	26,5	21,0	20,6	27,2	30,4	21,3	21,1
20	Закавказье	5,20	11,3	11,4	15,8	20,7	22,9	23,7	20,4	19,4	24,5	26,4	20,9	20,3
Южная Америка		15,1	32,6	49,3	65,6	87,0	117	152	167	182	213	260	190	201
21	Северный	1,70	4,20	6,40	9,12	13,0	17,4	22,0	24,1	26,3	30,9	38,3	27,3	31,2
22	Восточный	0,99	2,04	2,88	7,34	13,6	25,2	43,0	49,0	54,6	68,8	87,6	59,8	65,7
23	Западный	8,80	19,9	26,7	29,4	33,1	38,8	45,1	48,0	50,8	55,9	65,0	51,5	52,4
24	Центральный	3,60	6,41	13,32	19,79	27,4	36,1	42,2	46,1	49,9	57,6	69,2	51,4	51,8
Австралия и Океания		1,60	6,83	10,4	14,5	19,9	23,5	28,5	30,4	32,5	35,7	39,5	30,8	29,1
25	Австралия	1,59	6,60	10,0	13,8	18,9	21,6	25,5	27,1	28,9	31,7	35,0	27,0	25,0
26	Океания	0,01	0,23	0,37	0,69	1,04	1,93	2,98	3,29	3,60	4,02	4,49	3,80	4,10

первую очередь должны приниматься для оценки дефицита водных ресурсов и реальной водообеспеченности; также полностью игнорируются данные по величинам потерь воды на дополнительное испарение с водохранилищ.

Наиболее детальные современные данные по анализу динамики водопотребления в различных

секторах экономики имеются для США (Gleick, 1998), для многих стран Европы (ЕЕА, 1999; ЕТС/ІW, 1998), России (ГВК, 1982–2005), Украины (Яцык, Хорев, 2000; Яцык, 2001), для стран, прилегающих к Средиземному морю (Margat, Vallee, 2000).

В соответствии с данными (ЕFА, 1999) за последние десятилетия наметилась общая тенденция

уменьшения суммарного водопотребления в Европе, вместе с тем произошел заметный рост площадей орошаемых земель. По данным (ETC/IW, 1998) в странах Западной Европы с 1980 по 1995 г. они увеличились в среднем примерно на 11%, что привело и к некоторому увеличению водопотребления в сельском хозяйстве. За тот же период увеличились в европейских странах и затраты воды на коммунальное водопотребление. По данным (ICWS, 1996; IWSA, 1997) за 1980–1995 гг. величины удельного потребления воды на нужды населения в л/сутки на одного жителя возросли почти во всех странах Западной Европы, при этом за период 1975–1990 гг. во Франции, Великобритании и Нидерландах увеличение составило 22–27%.

Тенденции увеличения коммунального водопотребления в последние десятилетия характерны не только для высокоразвитых стран Европы, но и для развивающихся стран, о чем свидетельствуют данные по странам Средиземноморья, приведенные в (Margat, Vallee, 2000).

Таким образом, уменьшение суммарного водопотребления в высоко развитых странах мира произошло, главным образом, за счет более экономного использования воды в промышленности и теплоэнергетике. Например, во Франции суммарное промышленное водопотребление упало с $5,1 \text{ км}^3$ в год в 1985 г. до $3,9 \text{ км}^3$ в год в 1995 г., т. е. сократилось на 22%. В США потребление промышленностью пресных вод с 1980 по 1995 г. сократилось на 15% (Gleick, 1998). При этом, коммунальное водопотребление за тот же период увеличилось не только по абсолютной величине (на 22%), но и по удельному водопотреблению на одного городского жителя (с 685 до 705 л/сут); в Канаде за 1980–1995 гг. удельное водопотребление городским населением выросло еще более значительно (с 575 до 700 л/сут) (Shiklomanov (ed.), 2003).

Тренды уменьшения промышленного водопотребления объясняются двумя главными причинами. К первой относятся использование новых технологий с малыми потребностями в воде и преимущественное развитие наименее водоемких отраслей промышленности. Ко второй можно отнести повышение цен на воду, что заставляет компании уменьшать объем водозабора, а также строгий контроль и увеличение оплаты за сброс промышленных стоков, как средство уменьшения загрязнения окружающей среды.

Объемы потребления пресной воды отдельными водопотребителями на уровень 2000 г. (включая

потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ) для 57 стран мира всех континентов представлены в табл. 12.19. Суммарный объем полного водопотребления в этих странах, включая потери на испарение с водохранилищ составляет — 81%, а безвозвратного — 83% от общемировых величин. В соответствии с представленными данными, в развитых странах мира, расположенных в умеренном климате, промышленность (включая теплоэнергетику) является основным водопотребителем (от 50 до 70% общего водопотребления). Практически во всех развивающихся странах всех континентов, а также в развитых странах, имеющих значительные площади орошаемых земель, (например, в Японии, Италии, Испании, Греции), сельское хозяйство занимает первое место по объему полного водопотребления (от 50 до 90%).

Что касается объема безвозвратного водопотребления, то практически для всех стран мира (за исключением самых северных — Финляндии, Норвегии, Швеции), оно, главным образом, определяется потерями воды на испарение при орошаемом земледелии и при сооружении крупных водохранилищ. При этом для многих крупных стран мира, имеющих развитое орошение и значительный объем безвозвратного водопотреблением на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства (США, Канада, Россия, Бразилия, Египет, Австралия) потери на дополнительное испарение с водохранилищ составляют от 17 до 84% общего объема безвозвратного водопотребления (табл. 12.19). Для некоторых стран Африки (Уганда, Гана, Замбия, Мозамбик), где построены крупнейшие водохранилища, а водопотребление на различные хозяйственные нужды незначительно, потери воды на испарение с водохранилищ во много раз превышают не только объемы безвозвратного, но и полного водопотребления (табл. 12.19). Естественно, что указанные виды потерь нельзя не учитывать при расчетах водохозяйственного баланса и водообеспеченности стран и природно-экономических регионов мира как на современном этапе, так и на перспективу. Выявленные особенности динамики различных видов водопотребления в развитых и развивающихся странах в полной мере учтены при расчетах указанных характеристик на перспективу до 2025 г. для природно-экономических регионов мира (табл. 12.18).

Полное и безвозвратное водопотребление, суммарная площадь водной поверхности и дополнительные потери на испарение с водохранилищ в избранных странах мира на уровень 2000 г.

№	Страна	Площадь, млн км ²	Суммарное водопотребление, км ³ /год				Общая площадь водохранилищ (без затопления озер), км ²	Объем дополнительных потерь на испарение с водохранилищ, км ³	Отношение потерь на испарение с водохранилищ к объему водопотребления, %	
			Коммунальное	Промышленность	Сельское хозяйство	Всего			Полное	Безвозвратное
Европа										
1	Австрия	0,084	<u>0,61</u> 0,06	<u>2,31</u> 0,35	<u>0,26</u> 0,21	<u>3,18</u> 0,62	150	0,007	0,22	1,13
2	Финляндия	0,34	<u>0,46</u> 0,06	<u>3,20</u> 0,61	<u>0,12</u> 0,10	<u>3,78</u> 0,77	2 480	0,22	5,80	28,6
3	Франция	0,55	<u>7,00</u> 0,70	<u>22,7</u> 3,20	<u>8,00</u> 6,60	<u>37,7</u> 10,5	550	0,15	0,40	1,43
4	Греция	0,13	<u>0,79</u> 0,10	<u>2,60</u> 0,47	<u>6,20</u> 5,22	<u>9,60</u> 5,80	250	0,16	1,70	2,80
5	Италия	0,30	<u>9,00</u> 0,79	<u>13,4</u> 1,70	<u>34,2</u> 26,7	<u>56,6</u> 29,2	500	0,23	0,40	0,80
6	Нидерланды	0,04	<u>1,70</u> 0,19	<u>4,80</u> 0,97	<u>2,60</u> 2,10	<u>9,10</u> 3,30	620	0,056	0,60	1,70
7	Норвегия	0,32	<u>0,42</u> 0,05	<u>1,48</u> 0,23	<u>0,16</u> 0,15	<u>2,06</u> 0,43	900	0,081	3,90	18,8
8	Россия	17,1	<u>13,6</u> 2,7	<u>38,8</u> 4,10	<u>10,6</u> 8,95	<u>66,9</u> 15,8	57 228	10,3	15,4	65,2
9	Испания	0,51	<u>5,10</u> 0,59	<u>7,30</u> 0,78	<u>25,0</u> 19,0	<u>37,4</u> 20,6	2 200	1,49	3,20	5,80
10	Швеция	0,45	<u>1,10</u> 0,12	<u>1,90</u> 0,36	<u>0,30</u> 0,26	<u>3,31</u> 0,74	613	0,055	1,70	7,40
11	Швейцария	0,04	<u>0,74</u> 0,09	<u>2,36</u> 0,36	<u>0,14</u> 0,11	<u>3,24</u> 0,56	140	0,006	0,19	1,10
12	Украина	0,60	<u>3,60</u> 0,90	<u>9,90</u> 2,10	<u>5,50</u> 5,00	<u>19,0</u> 8,00	9 800	2,21	11,6	27,6
Северная и Центральная Америка										
13	Канада	9,97	<u>6,60</u> 1,00	<u>41,4</u> 1,60	<u>4,90</u> 3,80	<u>52,9</u> 6,40	59 700	5,37	10,1	84,0
14	Коста-Рика	0,05	<u>0,15</u> 0,02	<u>0,26</u> 0,04	<u>1,30</u> 0,91	<u>1,71</u> 0,97	270	0,06	3,50	6,20
15	Гондурас	0,11	<u>0,11</u> 0,02	<u>0,12</u> 0,01	<u>0,99</u> 0,69	<u>1,22</u> 0,72	303	0,068	5,60	9,40
16	Мексика	1,96	<u>8,27</u> 1,77	<u>20,2</u> 1,77	<u>63,4</u> 40,7	<u>91,9</u> 44,2	7 200	5,83	6,30	13,2
17	США	9,36	<u>59,0</u> 8,60	<u>221</u> 12,9	<u>210</u> 122	<u>490</u> 144	39 400	24,8	5,10	17,2
Африка										
18	Ангола	1,25	<u>0,15</u> 0,02	<u>0,067</u> 0,01	<u>0,34</u> 0,29	<u>0,56</u> 0,32	454	0,25	44,6	78,1
19	Камерун	0,48	<u>0,38</u> 0,04	<u>0,10</u> 0,01	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,71</u> 0,23	790	0,21	29,6	91,3
20	Кот-д'Ивуар	0,32	<u>0,38</u> 0,05	<u>0,12</u> 0,01	<u>0,74</u> 0,56	<u>1,24</u> 0,62	2 575	0,93	75,0	150

21	Египет	1,00	<u>4,00</u> 0,42	<u>4,80</u> 0,57	<u>45,4</u> 37,0	<u>54,3</u> 38,0	5 720	12,4	22,8	32,6
22	Эфиопия	1,22	<u>0,79</u> 0,08	<u>0,10</u> 0,01	<u>2,90</u> 2,20	<u>3,80</u> 2,30	280	0,46	12,1	20,0
23	Гана	0,24	<u>0,41</u> 0,06	<u>0,10</u> 0,02	<u>0,31</u> 0,23	<u>0,82</u> 0,31	8 480	4,58	558	1 477
24	Кения	0,58	<u>0,94</u> 0,15	<u>0,14</u> 0,015	<u>1,91</u> 1,53	<u>3,00</u> 1,70	265	0,21	7,00	12,4
25	Мали	1,24	<u>0,11</u> 0,015	<u>0,016</u> 0,003	<u>1,69</u> 1,26	<u>1,82</u> 1,28	930	1,00	55,0	78,1
26	Мозамбик	0,80	<u>0,12</u> 0,018	<u>0,01</u> 0,002	<u>0,79</u> 0,59	<u>0,92</u> 0,61	2 922	1,84	200	302
27	Нигерия	0,92	<u>2,35</u> 0,35	<u>0,65</u> 0,06	<u>2,37</u> 1,54	<u>5,38</u> 1,95	2 120	1,34	25,0	68,7
28	Южная Африка	1,22	<u>3,20</u> 0,33	<u>1,70</u> 0,21	<u>9,6</u> 7,9	<u>14,5</u> 8,50	1 280	1,15	7,90	13,5
29	Судан	2,50	<u>1,10</u> 0,21	<u>0,29</u> 0,053	<u>17,2</u> 12,9	<u>18,6</u> 13,2	585	1,05	5,60	7,90
30	Уганда	0,24	<u>0,31</u> 0,03	<u>0,04</u> 0,005	<u>0,28</u> 0,20	<u>0,64</u> 0,24	8 000	4,32	675	1800
31	Заир	2,34	<u>0,60</u> 0,07	<u>0,07</u> 0,02	<u>0,17</u> 0,10	<u>0,84</u> 0,19	651	0,23	27,4	121
32	Замбия	0,75	<u>0,21</u> 0,03	<u>0,067</u> 0,01	<u>0,67</u> 0,48	<u>0,95</u> 0,52	4 450	4,60	484	884
Азия										
33	Бангладеш	0,14	<u>2,00</u> 0,42	<u>0,30</u> 0,04	<u>28,2</u> 21,5	<u>30,5</u> 22,0	800	0,43	1,40	1,90
34	Китай	9,60	<u>57,5</u> 5,70	<u>90,6</u> 13,5	<u>433</u> 282	<u>581</u> 301	30 000	14,9	2,60	5,00
35	Индия	3,29	<u>23,0</u> 3,20	<u>23,0</u> 2,40	<u>564</u> 396	<u>610</u> 402	14 600	15,1	2,50	3,70
36	Индонезия	2,03	<u>11,1</u> 1,70	<u>5,60</u> 0,60	<u>37,2</u> 28,6	<u>54,0</u> 30,9	273	0,15	0,28	0,49
37	Иран	0,16	<u>5,10</u> 0,65	<u>8,60</u> 0,94	<u>65,7</u> 57,4	<u>79,3</u> 59,0	1 140	1,43	1,80	2,40
38	Ирак	0,44	<u>1,27</u> 0,17	<u>0,55</u> 0,04	<u>53,3</u> 42,8	<u>55,1</u> 43,0	6 900	9,32	16,9	21,7
39	Япония	0,38	<u>15,3</u> 1,07	<u>30,3</u> 4,80	<u>43,0</u> 37,1	<u>88,6</u> 43,0	380	0,034	0,04	0,08
40	Казахстан	2,72	<u>0,70</u> 0,49	<u>4,30</u> 0,27	<u>20,0</u> 18,3	<u>25,0</u> 19,1	6 950	4,38	17,5	22,9
41	Киргизстан	0,20	<u>0,43</u> 0,10	<u>0,17</u> 0,10	<u>7,90</u> 7,30	<u>8,50</u> 7,50	320	0,17	2,00	2,30
42	Малайзия	0,33	<u>3,70</u> 0,40	<u>4,50</u> 0,46	<u>6,20</u> 3,74	<u>14,4</u> 4,60	886	0,40	2,80	8,70
43	Пакистан	0,80	<u>2,50</u> 1,00	<u>1,80</u> 0,70	<u>176</u> 158	<u>180</u> 160	790	1,07	0,43	0,60

Примечание. В числителе — полное водопотребление, в знаменателе — безвозвратное водопотребление.

12.7. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ

Для оценки состояния водных ресурсов в странах и регионах мира за продолжительный многолетний период, в том числе на перспективу до 2025 г., использованы два критерия — нагрузка на водные ресурсы ($K_{исп}$) и водообеспеченность региона (см. разд. 10.5).

В условиях больших колебаний возобновляемых водных ресурсов от года к году оценка нагрузки на водные ресурсы и водообеспеченности населения по величине среднемноголетних водных ресурсов всегда дает чрезмерно завышенные показатели; в то же время использование для этой цели минимальных годовых значений речного стока приводит к явно заниженным результатам, тем более, что во многих регионах имеются возможности использования части стока предшествующих лет за счет его искусственного или естественного регулирования. В связи с изложенным, представляется более обоснованным для оценки этих показателей принимать среднюю годовую величину водных ресурсов за маловодный период (см. разд. 10.5). Эти величины подсчитаны для каждого региона и приведены в табл. 12.20; они, естественно, значительно меньше среднемноголетних величин (в пределах от 0,50 до 0,90).

Таким образом, для расчета $K_{исп}$ принята величина локальных водных ресурсов в виде средних за маловодные годы, просуммированная с половиной притока извне; эта величина названа «реальные водные ресурсы». Величины $K_{исп}$ для каждого региона и континента, выраженные в процентах на 1950, 1995* г. и на 2025 гг. (по двум сценариям) представлены в табл. 12.20. Они изменяются в очень больших пределах во времени и особенно по континентам и регионам. В целом для мира величина $K_{исп}$ составляла в 1950 г. всего 3,6%, в 1995 г. — 10%, в 2025 г. по УС она достигнет уже 13%. По конти-

нентам на уровень 1995 г. $K_{исп}$ изменяется от 1,5–1,6% для Южной Америки и Австралии с Океанией до 19% для Европы и Азии; по регионам величины $K_{исп}$ варьируют в очень больших пределах, от 0,2–0,7% до 100–117%. На перспективу 2025 г. по УС величина $K_{исп}$ для Европы и Азии составит уже 23 и 27% соответственно, и особенно резко возрастает в африканских и азиатских регионах.

Исходя из классификации по степени использования или нагрузки на водные ресурсы и на основе данных табл. 12.20, в 1950 г. в мире была достаточно благополучная ситуация с водными ресурсами. Ни в одном регионе мира не отмечалась критически высокая нагрузка на водные ресурсы; к четвертой категории по нагрузке (> 40%) можно было отнести только один регион — Северная Африка, в подавляющем большинстве других регионов мира была низкая или умеренная нагрузка на водные ресурсы. К 1995 г. ситуация кардинальным образом изменилась и многие густонаселенные регионы мира стали иметь очень высокую и критически высокую нагрузку на водные ресурсы.

Анализируя категории регионов по величинам нагрузки на водные ресурсы, важно отметить, что внутри каждого континента (кроме Южной Америки), с одной стороны, имеются регионы, где степень использования водных ресурсов очень велика, а с другой — есть регионы, где доля водопотребления по отношению к водным ресурсам ничтожно мала (табл. 12.20). Например, в Южном и Центральном регионах Европы современное водопотребление уже составляет 35–45% от реальных водных ресурсов, в то время как в Северном регионе континента эти величины не превышают 2%. В Северной Америке на севере континента водопотребление составляет 1,2% от водных ресурсов, а для территории США (без Аляски) эта величина достигает 35%. Еще более контрастная картина имеет место для Африки и Азии. В северной части Африки уже в настоящее время полностью используются возобновляемые водные ресурсы, в других же регионах (особенно в Центральной Африке) водопотребление ничтожно мало по сравнению с водными ресурсами. В Азии такие регионы, как Южная и Западная Азия, Средняя Азия и Казахстан, имеют очень высокие коэффициенты использования водных ресурсов ($K_{исп} = 51–100\%$), в то время как в регионах Сибирь и Дальний Восток этот коэффициент не превышает 1%. И только в Южной Америке во всех регионах величина использования водных ресурсов очень невелика и не превышает 1–5%.

* В разд. 12.7 и 12.8 оценки изменений водопотребления, водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы на уровни 2010 и 2025 гг. по сценариям ГГИ приведены по отношению к 1995 г. Это сделано для более корректного сравнения с результатами оценок по сценариям Международной группы экспертов (см. разд. 12.8), которые также приводятся по отношению к 1995 г., когда имелись надежные официальные данные по численности населения по всем странам мира. При этом следует отметить, что даже в более поздних работах (см. напр., Arnell, 2004, Аксамо, 2007) прогнозные оценки численности населения земли, которое будет жить в условиях дефицита водных ресурсов, также даются по сравнению с уровнем 1995 г.

Таблица 12.20

Сравнение полного водопотребления с возобновляемыми водными ресурсами по природно-экономическим регионам мира

№ региона	Континент, регион	Площадь, млн. км ²	Водные ресурсы, км ³ /год				Сум. водопотребление, км ³ /год			K _в *, %			
			Приток	Местные		Реальные	2000	2025		1950 2000 2025			
				средние	маловодн.			УС	СУР	УС СУР			
Европа		10,46		2900	2441	2441	457	559	353	5,6	19,0	23,0	14,5
1	Северный	1,32		705	580	580	11,0	13,4	7,3	0,6	1,9	2,3	1,2
2	Центральный	1,86	6	617	423	426	154	176	99,0	12,0	36,0	41,0	23,0
3	Южный	1,79	109	546	373	428	186	204	149	14,0	43,0	48,0	35,0
4	Север ЕТ бывшего СССР	2,71	27	589	497	511	10,8	16,8	10,2	0,2	2,0	3,3	2,0
5	Юг ЕТ бывшего СССР	2,78	123	443	337	399	95,0	149	87,0	5,0	24,0	37,0	22,0
Северная Америка		24,3		7890	7042	7042	686	786	527	4,0	9,7	11,1	7,5
6	Канада и Аляска	13,67	130	4980	4550	4615	56,1	73,7	34,7	0,3	1,2	1,6	0,8
7	США (без Аляски)	7,84	70	1800	1390	1425	503	550	351	17,4	35,0	38,0	25,0
8	Централ. Америка и Карибы	2,74	2,5	1110	969	970	127	162	141	2,6	13,0	17,0	15,0
Африка		30,1		4050	3340	3340	219	337	292	1,7	6,6	10,1	8,7
9	Северный	8,78	140	41	24	94	110	145	124	46,0	117	154	132
10	Южный	5,11	86	399	309	352	27,3	44,8	35,8	2,0	8,0	13,0	10,0
11	Восток	5,17	26	749	622	635	52,6	85,7	73,7	0,6	8,3	13,5	12,0
12	Запад	6,96	30	1088	623	638	26,5	52,4	50,7	0,4	4,1	8,0	8,0
13	Центральный	4,08	80	1770	1510	1550	2,6	9,2	7,6	0,02	0,1	0,6	0,5
Азия		43,5		13510	11879	11879	2230	3255	2487	7,1	18,8	27,4	21,0
14	Северный Китай и Монголия	8,29		1029	597	597	268	372	301	15,5	45,0	62,0	50,0
15	Южный	4,49	300	1988	1592	1742	887	1339	991	21,0	51,0	77,0	57,0
16	Западный	6,82		490	275	275	249	356	277	33,0	91,0	129	100
17	Юго-Восток	6,95	120	6646	5609	5669	631	949	722	3,9	11,0	17,0	13,0
18	Центральная Азия и Казахстан	3,99	46	181	130	153	154	182	155	37,4	100	119	100
19	Сибирь и Дальний Восток России	12,76	218	3107	2773	2882	21,0	30,4	21,1	0,2	0,7	1,0	0,7
20	Закавказье	0,19	12,1	68	52,5	65	20,4	26,4	20,3	17,5	31,0	41,0	31,0
Южная Америка		17,9		12030	10690	10690	167	260	201	0,5	1,6	2,4	1,9
21	Северный	2,55		3340	2645	2645	24,1	38,3	31,2	0,2	1,0	1,4	1,1
22	Восточный	8,51	1900	6220	5260	6210	49,0	87,6	65,7	0,05	0,8	1,4	1,0
23	Западный	2,33		1720	1070	1070	48,0	65,0	52,4	2,5	4,5	6,1	5,0
24	Центральный	4,46	720	750	570	930	46,0	69,2	52,0	1,4	5,0	7,4	5,6
Австралия и Океания		8,95		2404	1999	1999	30,4	40,0	29,0	0,5	1,5	2,0	1,5
25	Австралия	7,68		352	282	282	27,1	35	25,0	3,5	10,0	12,0	9,0
26	Океания	1,27		2050	1625	1625	3,3	4,5	4,1	0,02	0,2	0,3	0,25
Весь мир (округленно)		135		42 780	39 900	39 900	3789	5237	3889	3,5	9,5	13,0	9,7

В перспективе к 2025 г., при развитии водопотребления по Условному Сценарию, неравномерность в распределении водных ресурсов и водопотреблении сохранится и даже еще более возрастет. Во многих регионах где современное использование водных ресурсов уже достаточно велико, в перспективе возрастет еще больше и достигнет критических величин, в то время как в северных регионах и в регионах избыточного увлажнения на всех континентах водопотребление по-прежнему будет со-

ставлять очень незначительную часть от водных ресурсов.

В табл. 12.21 на основании данных табл. 12.20 показано распределение населения в мире, проживающего в регионах с разной нагрузкой на водные ресурсы на уровень 1950, 1995 гг. и на 2025 г. по двум сценариям развития водопотребления.

Если в 1950 г. 76% населения имела вполне благоприятную ситуацию с использованием водных ресурсов ($K_{исп} < 20\%$) и ни в одном регионе не было

Таблица 12.21

**Численность населения Земного шара в регионах
с различной степенью использования водных ресурсов**

$K_{исп}$ %	Численность населения							
	1950		1995		2025			
	млн	%	млн	%	УС		СУР	
	млн	%	млн	%	млн	%	млн	%
≤ 10	1197	46,4	1032	18,1	1236	15,7	1412	17,9
11–20	752	29,1	1582	27,7	2587	32,8	2411	30,6
21–40	580	22,5	722	12,7	426	5,4	936	11,9
41–60	51,4	2,0	1914	33,6	510	6,5	2363	30
> 60	0	0	451	7,9	3118	39,6	755	9,6
Σ	2580	100	5700	100	7877	100	7877	100

критической ситуации ($K_{исп} > 60\%$), то уже в 1995 г. более 40% мирового населения (2360 млн) проживало в условиях очень высокой и критически высокой нагрузки на водные ресурсы.

В перспективе, по УС ситуация в мире станет еще более угрожающей, когда с полным основанием можно говорить о катастрофе с пресной водой в глобальном масштабе. Действительно, по этому сценарию к 2025 г. 40% населения Земли, или 3100 млн, будут иметь критическую ситуацию с водными ресурсами ($K_{исп} > 60\%$). Но это только количественный аспект; в условиях столь высокой нагрузки на водные ресурсы, как правило, резко ухудшается качество воды в результате ее загрязнения, происходит деградация природной среды, увеличивается заболеваемость и смертность от болезней, связанных с водой.

Величины удельной водообеспеченности рассчитаны в ГГИ для всех природно-экономических регионов мира и избранных стран за период с 1950 по 1995 г. и на перспективу до 2025 г. Основные результаты этих расчетов представлены в табл. 12.22. В 1950 г. удельная водообеспеченность населения Земли оценивалась в 15 200 м³/год на одного жителя, к 1995 г. она уменьшилась в 2,3 раза и составила 6600 м³/год. Как и следовало ожидать, водообеспеченность очень сильно варьирует по континентам и особенно по природно-экономическим регионам. Например, наибольшие величины удельной водообеспеченности 140 000–160 000 м³ в год на уровень 1995 г. имели место в двух регионах: Канада и Аляска и Океания. В то же время в густонаселенных регионах Азии, Центральной и Южной Европы этот показатель находился в пределах 1000–4000 м³ на одного жителя. В Северной Африке и в странах Аравийского полуострова удельная водообеспеченность не превышала 100–300 м³ в год.

В табл. 12.23 дано распределение численности населения, проживающего в регионах при различных величинах водообеспеченности в 1950, 1995 гг. и в 2025 г. (по двум сценариям ГГИ).

В 1950 г. только 11% населения Земли проживало в регионах с очень низкой водообеспеченностью, и ни в одном регионе мира не было катастрофически низкой водообеспеченности. К 1995 г. ситуация коренным образом изменилась: во многих регионах мира водообеспеченность населения резко уменьшилась и стала катастрофически низкой в Северной Африке и на Аравийском полуострове, в Северном Китае, Южной и Западной Азии, в Средней Азии и Казахстане (табл. 12.22). Всего в настоящее время в мире 47% населения проживает в условиях катастрофически низкой и очень низкой удельной водообеспеченности (менее 2000 м³ в год на одного жителя) (табл. 12.23).

Положение еще более ухудшится в ближайшие десятилетия. Уже почти в половине всех регионов мира удельная водообеспеченность будет ниже или близка к 2000 м³ в год, а в четырех регионах она будет менее 500 м³ в год на одного жителя (табл. 12.22). Согласно данным табл. 12.23, к 2025 г. большая часть населения Земли (58%) будет жить в регионах с очень низкой и катастрофически низкой водообеспеченностью, а 40% или 3120 млн будут иметь водообеспеченность много меньше 1000 м³ в год или катастрофически низкую (табл. 12.23). При этом, по УС в среднем для более чем 2500 млн жителей Земли удельная водообеспеченность будет менее 500 м³ в год на одного человека. В то же время на все расчетные уровни, в том числе на перспективу, сохранится очень высокая удельная водообеспеченность в Северной Европе, в Канаде с Аляской, в Центральной Африке, в Сибири и на Дальнем Востоке, в Океании, почти во всей Южной Америке (табл. 12.22).

Для выявления дефицита водных ресурсов в мире в перспективе весьма важным является анализ тенденций и темпов изменения удельной водообеспеченности в зависимости от различных факторов. Анализ данных, полученных для природно-экономических регионов и стран мира, показывает, что темпы снижения водообеспеченности зависят от двух главных факторов: от социально-экономического развития стран, входящих в регион, и от климатических условий региона.

Об этом убедительно свидетельствуют графики, представленные на рис. 12.31, где показана динамика удельной водообеспеченности с 1950 по 2025 г.

Таблица 12.22

Реальная удельная водообеспеченность в 1000 м³/год на человека по континентам и природно-экономическим регионам мира на уровень 1950, 1995, 2025

№	Континент, регион	Население, млн чел.		Реальн. вод ресурсы, км ³ /год	Безвозвратное водопотребление, км ³ /год			Реальная удельная водообеспеченность, в 1000 м ³ /год на человека			
		1995	2025		1995	2025 УС СУР		1950	1995 2025 УС СУР		
Европа		684	684	2441	189	256	201	4,61	3,3	3,2	3,3
1	Северный	23,2	23,4	580	2,9	3,9	3,3	32,0	24,9	24,6	24,6
2	Центральный	293	298	426	40,8	51,7	44,2	1,9	1,3	1,26	1,28
3	Южный	188	193	428	107	117	101	2,8	1,7	1,6	1,7
4	Север ЕТ бывшего СССР	28,5	25,6	511	1,9	5,0	4,4	24,3	17,8	19,7	19,8
5	Юг ЕТ бывшего СССР	151	144	399	37,2	77,8	47,7	3,4	2,4	2,2	2,4
	Северная Америка	453	562	7042	237	269	223	31,8	15,0	12,0	12,13
6	Канада и Аляска	29	31,0	4615	11,0	15,3	11,6	332	159	148	148,5
7	США (без Аляски)	261	282	1425	163	177	144	8,8	4,8	4,42	4,54
8	Центр. Америка и Карибы	163	249	970	63	77	67	18,4	5,6	3,58	3,63
Африка		710	1503	3340	160	220	182	15,1	4,5	2,07	2,1
9	Северный	157	258	94	79,8	97,2	82,6	1,24	0,09	0	0,04
10	Южный	84	154	352	20,2	30,8	23,2	12,4	4,0	2,08	2,14
11	Восток	194	454	635	38,6	56,3	47,4	11,8	3,1	1,27	1,29
12	Запад	211	492	638	19,9	32,3	26,2	9,7	2,9	1,23	1,24
13	Центральный	64	145	1550	1,6	3,5	2,5	75,2	24,2	10,6	10,7
Азия		3498	4626	11879	1381	1876	1470	7,5	3,0	2,16	2,25
14	Северный Китай и Монголия	487	563	597	143	187	155	2,4	0,93	0,73	0,78
15	Южный	1239	1800	1742	611	856	634	3,1	0,91	0,49	0,62
16	Западный	239	418	275	184	248	194	2,9	0,38	0,06	0,19
17	Юго-Восток	1419	1708	5669	319	421	344	8,4	3,8	3,07	3,12
18	Центральная Азия и Казахстан	55	79,0	153	102	132	116	6,4	0,93	0,26	0,47
19	Сибирь и Дальний Восток России	42	39,0	2882	10,5	15	11,9	112	68,4	73,5	73,6
20	Закавказье	16,6	19,0	65	12,8	18,7	15,0	7,2	3,1	2,4	2,63
Южная Америка		326	465	10 690	89,4	120	99	96,9	32,5	22,7	22,8
21	Северный	59,3	89,0	2645	12,1	16,8	13,7	155	44,4	29,5	29,6
22	Восточный	165	232	6210	25,4	36,4	32,0	119	37,5	26,6	26,63
23	Западный	50,2	72	1070	25,3	32,3	26,0	61	20,8	14,4	14,5
24	Центральный	51,5	72	930	26,6	35,0	26,8	39	17,5	12,4	12,5
	Австралия и Океания	29,7	37,0	1999	17,5	22,3	18,8	169	66,7	53,4	53,5
25	Австралия	17,9	22	282	15,4	19,7	16,5	33,8	14,9	11,9	12,1
26	Океания	11,8	15	1625	2,1	2,6	2,3	451	138	108	108,2
Весь мир (округленно)		5701	7877	39 900	2070	2220	2190	15,2	6,6	4,78	4,79

в относительных единицах (по отношению к уровню 1950 г.), осредненная для трех групп регионов, включающих:

- промышленно-развитые страны;
- развивающиеся страны в условиях достаточного и избыточного увлажнения;
- развивающиеся страны в условиях аридного и семиаридного климата.

В соответствии с данными (рис. 12.31), для регионов, в которые, в основном, входят промышленно-развитые страны, снижение удельной водообеспеченности относительно невелико независимо от климатических условий и величины водных ресурсов и составляет в среднем за рассматриваемый период (1950–2025 гг.) — 1,7 раза, причем 70% снижения приходится на период до 1995 г. Для ре-

Таблица 12.23

Численность населения Земного шара в регионах с различным уровнем водообеспеченности

Водообеспеченность, $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$ на человека	Численность населения											
	1950				1995				2025			
	1950		1995		УС		СУР					
	млн	%	млн	%	млн	%	млн	%				
< 1	—	—	2177	38,2	3118	39,6	3118	39,6				
1,1–2,0	273	10,6	481	8,4	1437	18,2	1437	18,2				
2,1–5,0	1047	40,6	2337	41,0	2556	32,4	2556	32,4				
5,1–10,0	906	35,1	163	2,8	—	—	—	—				
11,0–20,0	134	5,2	98	1,7	337	4,3	337	4,3				
> 20,0	221	8,5	445	7,9	429	5,5	429	5,5				
Σ	2580	100	5700	100	7877	100	7877	100				

гионов, в состав которых входят, в основном, развивающиеся страны, снижение удельной водообеспеченности происходит много быстрее и составляет для условий достаточного и избыточного увлажнения за тот же период в среднем 4,5 раза, а для условий аридного и семиаридного климата — 7–8 раз.

Таким образом, имеющаяся на Земле очень большая естественная неравномерность в распределении водообеспеченности со временем за счет хозяйственной деятельности и особенностей роста численности населения в развитых и развивающихся странах увеличивается все больше, причем весьма быстрыми темпами.

Приведенный в настоящем разделе анализ ситуации с использованием водных ресурсов в мире по двум критериям (по нагрузке на водные ресурсы и по удельной водообеспеченности), позволил по-



Рис. 12.31. Динамика удельной водообеспеченности для трех групп регионов мира (в %) за период 1950–2025 гг.

лучить практически одинаковые и весьма неблагоприятные выводы. В последние десятилетия очень быстро растет нагрузка на водные ресурсы и резко уменьшается водообеспеченность, особенно в развивающихся странах. В настоящее время уже более 40% населения Земли проживает в условиях чрезмерно высокой нагрузки на водные ресурсы и исключительно малой водообеспеченности, когда дефицит водных ресурсов становится решающим фактором развития экономики и улучшения жизни населения.

В перспективе двух-трех ближайших десятилетий, если отношение к использованию пресной воды в мире останется на современном уровне (Условный Сценарий), большая часть населения Земли будет иметь критическую ситуацию с водными ресурсами и водообеспечением, т. е. можно с полным основанием говорить о катастрофе с пресной водой в глобальном масштабе.

Количественные характеристики нагрузки на водные ресурсы и удельной водообеспеченности, приведенные в табл. 12.20 и 12.22 для каждого региона, естественно, не могут быть отнесены к каждой стране, входящей в регион. В составе каждого региона, в зависимости от природных особенностей и численности населения, могут быть страны, имеющие прямо противоположную ситуацию с водообеспечением, чем в среднем по региону.

Например, в Азии, в регионе Средняя Азия и Казахстан исследуется в среднем исключительно сложная ситуация с водными ресурсами, однако в таких странах, входящих в регион, как Киргизстан и Таджикистан, расположенных в горной зоне, до настоящего времени низкая нагрузка на водные ресурсы и высокая удельная водообеспеченность. В то же время, находящиеся в этом же регионе Узбекистан и Туркменистан, имеют катастрофически низкую водообеспеченность. В регионе Западная Африка в среднем наблюдается низкая удельная водообеспеченность, однако в таких небольших странах, как Гамбия и Гвинея-Биссау, удельная водообеспеченность в 4–5 раз превышает среднюю по региону. Аналогичная ситуация может быть и в других регионах.

Особые подходы к оценке водообеспеченности требуются для очень богатых, экономически развитых стран Аравийского полуострова, где в отличие от других стран величины располагаемых водных ресурсов постоянно увеличиваются путем интенсивного использования глубоко залегающих невозобновляемых запасов подземных вод и при-

Таблица 12.24

Суммарные водные ресурсы, полное и безвозвратное водопотребление (км³/год), и водообеспеченность (1000 м³/год на человека) для стран Аравийского полуострова

Страна	Характеристика	Расчетный уровень					
		1980	1990	1995	2000	2010	2025
Саудовская Аравия	Водные ресурсы	3,69	17,6	21,0	24,4	27,9	32,8
	Полное водопотребление	2,36	16,3	19,7	23,1	26,6	31,5
	Безвозвратное водопотребление	1,65	12,8	15,2	17,7	19,1	21,0
	Водообеспеченность	0,218	0,328	0,335	0,342	0,331	0,624
Йемен	Водные ресурсы	3,75	4,94	5,30	5,67	6,40	7,88
	Полное водопотребление	1,70	2,89	3,18	3,47	4,35	5,83
	Безвозвратное водопотребление	1,39	2,19	2,16	2,12	2,57	3,62
	Водообеспеченность	0,394	0,235	0,28	0,326	0,260	0,151
Объединенные Арабские Эмираты	Водные ресурсы	0,685	1,119	1,376	1,634	2,210	2,833
	Полное водопотребление	0,610	1,044	1,302	1,559	2,135	2,980
	Безвозвратное водопотребление	0,486	0,826	1,072	1,317	1,452	1,894
	Водообеспеченность	0,714	0,443	0,439	0,435	0,424	0,403
Оман	Водные ресурсы	1,308	1,441	1,570	1,698	1,973	2,593
	Полное водопотребление	0,665	0,798	0,926	1,055	1,330	1,950
	Безвозвратное водопотребление	0,561	0,621	0,666	0,712	0,840	1,031
	Водообеспеченность	0,759	0,538	0,518	0,499	0,439	0,329
Кувейт	Водные ресурсы	0,186	0,383	0,512	0,640	1,071	1,721
	Полное водопотребление	0,186	0,383	0,512	0,640	1,071	1,721
	Безвозвратное водопотребление	0,049	0,099	0,124	0,148	0,199	0,264
	Водообеспеченность	0,100	0,132	0,148	0,164	0,231	0,385
Бахрейн	Водные ресурсы	0,138	0,225	0,266	0,306	0,365	0,425
	Полное водопотребление	0,138	0,225	0,266	0,306	0,365	0,425
	Безвозвратное водопотребление	0,084	0,118	0,122	0,126	0,132	0,138
	Водообеспеченность	0,156	0,213	0,236	0,260	0,273	0,287
Катар	Водные ресурсы	0,128	0,250	0,270	0,290	0,349	0,475
	Полное водопотребление	0,128	0,250	0,270	0,290	0,349	0,475
	Безвозвратное водопотребление	0,102	0,102	0,122	0,143	0,160	0,196
	Водообеспеченность	0,116	0,347	0,302	0,258	0,262	0,324
Аравийский полуостров в целом	Население	19,3	32,7	35,8	38,9	51,3	86,0
	Водные ресурсы	9,88	26,0	30,3	34,6	40,3	48,7
	Полное водопотребление	5,79	21,9	26,2	30,4	36,2	44,9
	Безвозвратное водопотребление	4,32	16,8	19,6	22,3	24,4	28,1
	Водообеспеченность	0,288	0,281	0,300	0,318	0,308	0,239

влечения так называемых нетрадиционных источников пресной воды, в частности, опреснения соленых и солоноватых вод. Это обусловлено тем, что крайне скудные ресурсы речного стока этих стран уже практически полностью использованы, а быстрое экономическое развитие, рост численности населения и повышение его жизненного уровня требуют постоянного увеличения водопотребления. В условиях достаточных финансовых ресурсов страны Аравийского полуострова имеют возможность удовлетворить потребности растущего водопотреб-

ления за счет привлечения чрезвычайно дорогостоящих, нетрадиционных источников пресной воды, которые недоступны большинству других стран мира, располагающихся в аридных и семиаридных регионах.

На основании обобщения многочисленных публикаций (Proceeding... 1986; ALECSO, 1992; UN (DPCSD), 1995; UNESCO, ACSAD, 1995 и др.) и выполненных прогнозных оценок, приближенные величины суммарных традиционных и нетрадиционных водных ресурсов, полного и безвозвратного

водопотребления, а также удельной водообеспеченности для стран Аравийского полуострова за период с 1980 по 2025 г. представлены в табл. 12.24.

Величины водных ресурсов включают в себя поверхностный сток постоянных и временных водотоков, запасы воды в верхних водоносных горизонтах, а также объемы воды, извлекаемые из глубоких водоносных горизонтов и получаемые за счет опреснения соленых и солоноватых вод. Современный уровень водных ресурсов и водопотребления получен путем обобщения многочисленных публикаций, а прогнозные оценки выполнены с учетом национальных стратегий водной политики, финансовых и трудовых ресурсов. При этом главными приоритетами являются обеспечение населения питьевой водой и развитие технологий, которые предполагают более экономное использование пресной воды.

Данные, приведенные в таблице, показывают на значительное увеличение располагаемых водных ресурсов, которое в ряде стран (например, Кувейт, Бахрейн, Катар) может даже значительно опережать рост населения и водопотребления. В результате, в целом для всех стран Аравийского полуострова, несмотря на интенсивный рост населения, следует ожидать стабилизации и, возможно, даже увеличения в отдельные периоды значений удельной водообеспеченности. Все это требует, естественно, огромных финансовых затрат. Несмотря на это, по абсолютным величинам удельная водообеспеченность в рассматриваемых странах остается катастрофически низкой (меньше 500 м³ в год на одного жителя), что требует чрезвычайно экономного использования пресной воды во всех сферах экономики и жизнеобеспечения населения.

12.8. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА В УСЛОВИЯХ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты анализа динамики водопотребления в мире в течение XX столетия и состояния водных ресурсов с оценкой на перспективу до 2025 г. по Условному Сценарию ГГИ были опубликованы международными организациями в 1997–1998 гг. (Shiklomanov ed., 1997; Shiklomanov, 1998) и широко представлены в докладах российских ученых на Международном симпозиуме по Мировым водным

ресурсам: «Вода: надвигающийся кризис?» (Париж, ЮНЕСКО, 1998).

Представленные данные убедительно показали на критическую современную ситуацию с состоянием водообеспеченности во многих регионах и странах мира и невозможность дальнейшего развития водопотребления по Условному Сценарию во избежание катастрофических последствий для большей части населения Земли, главным образом, проживающего в развивающихся странах.

Исходя из необходимости улучшения состояния мировых водных ресурсов, в последние годы разными авторами предложено несколько долгосрочных прогнозов (сценариев) перспективного развития водопотребления до 2025 г. в различных регионах и в глобальном масштабе (Rijsberman, 2000). Все эти сценарии основаны на прогнозах численности населения и развития экономики и предусматривают повышение эффективности технологии использования пресной воды различными потребителями.

12.8.1. Сценарии по проекту «Предвидение Мировых Водных Ресурсов»

В конце 1998 г. в рамках долгосрочного проекта «Предвидение Мировых Водных Ресурсов» (World Water Vision) была сформирована Международная группа экспертов (МГЭ), в задачу которой входила подготовка данных и разработка сценариев будущего мировых водных ресурсов. В течение 1999–2000 гг. на основании исходных данных по водным ресурсам и водопотреблению на 1995 г., представленных ГГИ, экспертами Группы было разработано три сценария использования пресных вод в мире на период с 1995 по 2010 г. и на 2025 г., которые получили названия: Бизнес как обычно (БКО) (Business-As-Usual (BAU)); Технология, экономика и частный сектор (ТЭС) (Technology, Economics and Private Sector (TEC) и Ценности и стиль жизни (ЦЕС) (Values and Lifestyles (VAL)). Результаты оценок водопотребления по этим сценариям для крупных регионов и мира в целом были представлены в марте 2000 г. на Втором Всемирном водном форуме (Гаага, Нидерланды) и опубликованы в работе (Rijsberman, ed., 2000).

Сценарий БКО базируется на следующих основных предпосылках до 2025 г.:

— численность населения достигнет 8 млрд жителей;

— орошаемые площади практически во всех странах мира останутся на уровне 1995 г.; увеличение на 6,8% предполагается только в Индии, Турции и Бразилии, что даст мировой прирост 1,5%; эффективность использования воды в сельском хозяйстве будет возрастать ежегодно на 0,3% (с вариацией по странам);

— коммунальное водопотребление (в л на 1 жителя в сутки) будет расти и затем, при увеличении доходов, стабилизируется; увеличение эффективности до 2005 г. составит 2% в год, далее — 1% ежегодно;

— промышленное производство будет расти от 0,8% в год в развитых странах до 10% в год в развивающихся странах с низкими доходами; эффективность использования воды будет расти на 2% в год до 2005 г. и далее 1% в год.

По сценарию БКО общее водопотребление в мире составит в 2025 г. 4300 км³ в год, т. е. возрастет по сравнению с 1995 г. на 13%. При этом, естественно, сократится (примерно на 8%) водопотребление в сельском хозяйстве, но увеличится промышленное водопотребление на 20%, а коммунальное — более чем в 2,5 раза. При этом рост коммунального водопотребления ожидается не только в развивающихся, но и в развитых странах.

Принятие в сценарии БКО предположения о полном прекращении расширения орошаемых площадей в мире, на наш взгляд, являются нереальными, не отвечающими интересам большинства стран и просто технически невозможными. Во многих странах мира наблюдается довольно интенсивный рост орошаемых площадей (рис. 12.32), в стадии реализации находятся новые проекты развития орошения, имеются перспективные планы увеличения орошаемых площадей, причем не только в странах традиционного орошения, таких как Китай, Индия, Пакистан, Египет, Мексика (UNESCO, 1995; FAO, 1999, 2000; ESCAP, 2002), но и в других, в том числе с весьма ограниченными водными ресурсами, а также в развитых странах Европы. Например, согласно (EAR, 1999), в странах Западной Европы с 1995 по 2010 г. планируется увеличение орошаемых площадей в среднем на 10%. Вызывает сомнение в этом сценарии и столь интенсивное предполагаемое увеличение коммунального водопотребления в мире, которое более чем вдвое превышает темпы прироста за предшествующие 15 лет, что маловероятно.

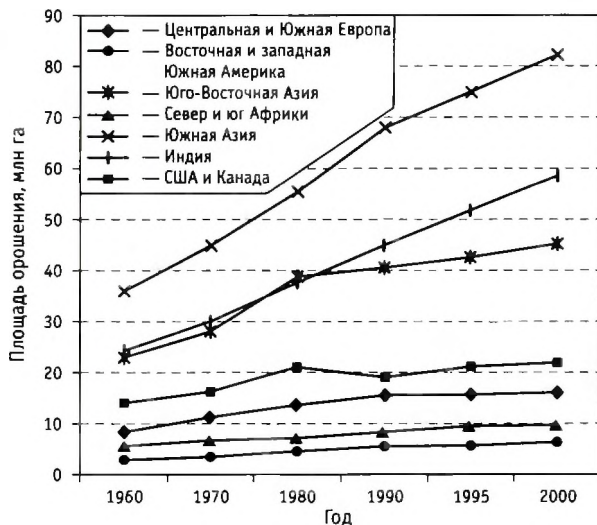


Рис. 12.32. Динамика орошаемых площадей по природно-экономическим регионам мира

Сценарий ТЭС базируется на следующих основных предпосылках до 2025 г.:

— численность населения составит 7,9 млрд;

— орошаемые площади изменятся на 23% с дифференциацией по отдельным странам от –24% (Саудовская Аравия) до 122% (Бразилия);

— эффективность использования воды в сельском хозяйстве увеличится от 10% (развивающиеся страны с низким доходом) до 20% (остальные страны);

— удельное коммунальное водопотребление уменьшится на одну треть по сравнению со сценарием БКО; эффективность до 2005 г. составит 2% в год, после 2005 г. — 3% ежегодно;

— промышленное производство до 2005 г. будет расти, как по сценарию БКО, далее на 0,2% ежегодно в развитых странах и до 15% в развивающихся с низкими доходами; эффективность использования воды предполагается до 2005 г. как по БКО, далее ежегодное увеличение на 3%.

Сценарий ЦЭС базируется на следующих основных предпосылках до 2025 г.:

— рост численности населения составит 7,5 млрд;

— увеличение орошаемых площадей в мире на 5%, в том числе по странам от — 100% (Саудовская Аравия) до 56% (Бенин, Буркина-Фасо);

— эффективность использования воды в сельском хозяйстве будет увеличиваться ежегодно на 0,9%, однако в меньшей степени в тех странах, где эффективность и в настоящее время высокая;

— удельное коммунальное водопотребление уменьшится на две трети по сравнению с БКО; увеличение эффективности — на 2% ежегодно;

— промышленный рост до 2005 г. будет происходить аналогично сценарию БКО, далее — изменение по странам ежегодно от 0,2% (Япония) до 15% (Восточная Африка); увеличение эффективности использования воды до 2005 как по БКО, далее на 2% ежегодно.

По сценариям ТЭС и ЦЕС, суммарное водопотребление в мире к 2025 г. уменьшится по сравнению с 1995 г. соответственно на 4% и на 26%. При этом по ТЭС сельскохозяйственное водопотребление останется примерно на уровне 1995 г. (прирост орошаемых площадей компенсируется увеличением эффективности), а по ЦЕС уменьшится на 22%. По обоим сценариям произойдет резкое уменьшение промышленного водопотребления (на 40% по ТЭС и в 2,5 раза по ЦЕС), при этом коммунальное водопотребление (по суммарному объему) по ТЭС увеличится на 14%, а по ЦЕС останется без изменений (Rijsberman, (ed.), 2000).

Анализируя принятые по сценариям ТЭС и ЦЕС исходные предпосылки, а также результаты выполненных нами с их использованием оценок будущего водопотребления по странам и природно-экономическим регионам, можно сделать следующие выводы.

Практически полное прекращение расширения орошаемых площадей в мире по сценарию ЦЕС (рост за 30 лет всего на 5%) является абсолютно нереальным по причинам, изложенным выше. Вряд ли реальным является и увеличение эффективности орошения на 20–30%. Технически это, по-видимому, и возможно, но эти мероприятия потребуют огромных затрат, которые не под силу не только бедным, развивающимся странам, но и странам с высокими доходами. При этом во многих регионах с достаточными водными ресурсами вряд ли целесообразно проведение столь дорогостоящих мероприятий. Отметим, что с 1960 по 1995 г. эффективность использования воды в орошении по миру в целом составила всего 5%, а в США — 16% (Shiklomanov ed., 2003).

Совершенно нереальным представляется сокращение к 2025 г. промышленного водопотребления в высокоразвитых странах мира — в США, Западной Европе, Японии: в 2,5–3,3 раза по сценарию ТЭС и в 3,3–5 раз по сценарию ЦЕС. Отметим в связи с этим, что в США за период с 1975 г. (когда началось интенсивное внедрение водосберегающих

технологий в промышленности) по 1995 г. промышленное водопотребление уменьшилось на 14% (Gleick, 1998), примерно такие же темпы уменьшения имели место в Японии и в ряде стран Западной Европы, а в Канаде за этот период промышленное водопотребление выросло на 30% (ЕЕА, 1999; Shiklomanov I. A. (ed.), 2003). В этих условиях предполагаемое (по сценарию ЦЕС) сокращение водопотребления в ближайшие 30 лет в 5 раз (при общем росте промышленного производства) представляется маловероятным и экономически необоснованным.

Прогнозы уменьшения коммунального водопотребления в развитых странах по ТЭС и особенно по ЦЕС, где удельные показатели сокращаются в 3–5 раз, вызывают большие сомнения не только в отношении целесообразности, но и физической возможности такого сокращения. Как известно, в современных условиях в США и Канаде население потребляет примерно 600–700 л воды в сутки на одного жителя, в Японии эта величина составляет 330 л/сут. По сценарию ЦЕС в 2025 г. удельное водопотребление населением в Северной Америке составит 177 л/сут, а в Японии — 77 л/сут. Такие показатели имели место в США и в Канаде лишь в начале XX столетия.

По данным, приведенным в работах (Gleick, 1993; 1998), начиная с 1980-х гг. во многих районах США предпринимаются энергичные меры по сокращению коммунального водопотребления. Несмотря на эти мероприятия, объем коммунального водопотребления в стране постоянно увеличивается: с 1980 по 1995 г. это увеличение составило 21%; при этом примерно на 4,5% возросло и удельное (на одного жителя) водопотребление. Аналогичная ситуация имеет место в Канаде и в большинстве других высокоразвитых странах мира.

Таким образом, все три сценария глобального водопотребления, разработанные Международной группой экспертов: БКО, ТЭС и ЦЕС базируются на недостаточно обоснованных и малореальных предпосылках, и полученные по этим сценариям величины водопотребления к 2025 г. практически недостижимы и вряд ли могут быть положены в основу планирования любой водохозяйственной деятельности. Для этой цели должны быть разработаны более реалистические сценарии, учитывающие современное состояние экономики, возможности, целесообразность и интересы самых различных регионов и стран мира.

12.8.2. Сценарий Устойчивого Развития ГГИ

В последние годы в ГГИ разработан новый сценарий предлагаемого развития мирового водопотребления на период до 2025 г., получивший название Сценарий Устойчивого Развития (СУР). Он базируется на тех же исходных данных на уровень 1995 г., которые использованы в Устойчивом Сценарии (УС) ГГИ, но предполагает принципиально другие подходы к использованию пресных вод в ближайшие десятилетия (Shiklomanov, Balonishnikova, 2003, Шикломанов, Балонишникова, 2008).

В новом сценарии ГГИ все предпосылки и оценки на перспективу первоначально рассматриваются и анализируются отдельно для каждого региона и основных стран, входящих в регион, и для каждого водопотребителя (население, промышленность, сельское хозяйство, водохранилища), а затем суммируются по континентам и по миру в целом.

Сценарий Устойчивого Развития (СУР) ГГИ базируется на следующих, обобщенных для всего мира, основных предпосылках на период с 1995 по 2025 г.

Численность населения возрастет до 7,8 млрд человек, т. е. как по УС, и это в общем наиболее полно отвечает средним и наиболее реальным современным прогнозам.

Площадь орошения в мире возрастет примерно на 20% с вариациями по странам и регионам: от 10% (высокоразвитые страны) до 30–40% (страны с переходной экономикой и некоторые развивающиеся страны Африки и Южной Америки).

Эффективность использования воды в орошении составит в среднем 15% с вариацией по странам и регионам от 20% (страны с высокими доходами и ограниченными водно-земельными ресурсами) до 10%. При этом одна треть эффективности будет достигнута в первую половину периода (до 2010 г.), а две трети — во вторую.

Коммунальное водопотребление (в л/сут на одного человека) в странах и регионах Европы уменьшится от 10% до 20%, в Северной Америке на 40%; при этом две трети уменьшения произойдет во вторую половину периода.

В странах и регионах Африки коммунальное водопотребление возрастет от 10–20% (север и юг Африки) до 100–120% (другие регионы), при этом большая часть прироста ожидается в первую половину периода.

В Южном регионе Азии ожидается рост на 50%, в других странах и регионах — без изменений или уменьшение на 10–20%. В самых бедных странах Африки и Азии к 2025 г. водопотребление будет не менее 50 л/сут на человека. В самых богатых странах Азии водопотребление будет не более 300 л/сут на человека. В странах и регионах Южной Америки и Австралии коммунальное водопотребление или уменьшится на 10–25% или останется без изменений.

Промышленное водопотребление. В регионах с высокоразвитыми странами полное водопотребление составит 0,5–0,6 от водопотребления 1995 г. В регионах бывшего СССР эта величина составит 0,8. В регионах Азии, Южной и Центральной Америки, в Северной и Южной Африке, а также Океании предполагается рост водопотребления в 1,2–2 раза в зависимости от региона. В других регионах Африки — увеличение в 6–7 раз. При уменьшении полного водопотребления величина безвозвратного водопотребления (в % от полного) возрастет, при увеличении — безвозвратное водопотребление уменьшается.

Потери на испарение с водохранилищ увеличиваются в регионах Северной Америки, Европы, бывшего СССР, Австралии на 5–10%, в остальных регионах — на 20–30%.

Принятые в СУР предпосылки являются вполне реальными для всех регионов, но по ряду позиций труднодостижимыми, в основном, по финансовым причинам.

12.8.3. Водопотребление, нагрузка на водные ресурсы и водообеспеченность по сценарию Устойчивого Развития

Прогнозы величин глобального водопотребления по двум сценариям ГГИ (УС и СУР) на 2010 и 2025 гг. представлены выше, в табл. 12.17 и на рис. 12.25. Более детально оценки на 1995, 2010 и 2025 гг. по основным водопотребителям даны в табл. 12.25.

Согласно расчетам по СУР, полное водопотребление в мире в перспективе практически стабилизируется: к 2010 г. оно возрастет примерно на 6%, а затем начнет падать и к 2025 г. составит 3890 км³/год, т. е. это всего на 2,7% больше по сравнению с 1995 г. Примерно в таких же пределах ожидается динамика безвозвратного водопотребления.

Прогноз водопотребления в мире по Условному Сценарию (УС) и Сценарию Устойчивого Развития (СУР) ГГИ

	1995	2010		2025		Изменения 2025/1995	
		УС	СУР	УС	СУР	УС	СУР
Суммарные величины							
Население, млн.	5735	7113	7113	7877	7877	1,37	1,37
Площадь орошаемых земель, млн га	253	288	286	329	306	1,3	1,2
Полное водопотребление, км ³ /год	3788	4431	4006	5235	3889	1,38	1,02
Безвозвратное водопотребление, км ³ /год	2074	2400	2233	2764	2194	1,33	1,06
Сельскохозяйственное водопотребление							
Полное водопотребление, км ³ /год	2504	2817	2646	3189	2535	1,27	1,01
Удельное водопотребление, м ³ /га	9897	9781	9252	9693	8284	0,98	0,83
Безвозвратное водопотребление, км ³ /год	1753	1987	1867	2250	1793	1,28	1,02
Коммунальное водопотребление							
Полное водопотребление, км ³ /год	344	472	422	607	456	1,76	1,32
Удельное водопотребление, л/день на человека	164	182	163	211	158	1,28	0,96
Безвозвратное водопотребление, км ³ /год	49,0	60,8	61,0	74,1	63,0	1,51	1,28
В % от полного водопотребления	14,2	12,8	14,4	12,2	13,8	0,86	0,97
Промышленное водопотребление							
Полное водопотребление, км ³ /год	752	907	731	1170	673	1,56	0,9
Удельное водопотребление, м ³ /год на человека	131	128	103	148	85	1,13	0,65
Безвозвратное водопотребление, км ³ /год	83,0	117	96,3	169	113	2,0	1,36
В % от полного водопотребления	11	12,8	13,2	14,4	16,8	1,3	1,5
Водохранилища							
Дополнительное испарение, км ³ /год	188	235	208	269	226	1,43	1,2
В% от мирового безвозвратного водопотребления	9,1	9,8	9,3	9,7	10,3	—	—

По СУР, по сравнению с УС, в 2025 г. произойдет уменьшение водопотребления всеми водопотребителями, но наиболее значительно промышленностью; промышленное водопотребление уменьшится по сравнению с 1995 г. примерно на 10% (по УС оно возрастет на 36%).

В 2025 г. орошаемые площади в мире составят по СУР 306 млн га (рост на 20% при росте 30% по УС). При этом, если по УС удельное водопотребление на 1 га к 2025 г. ожидается 9660 м³/га или всего на 2% меньше, чем в 1995 г., то по СУР — 8270 м³/га, или почти на 16% меньше, что обусловлено повышением эффективности использования воды в сельском хозяйстве.

Сравнение величин водопотребления в мире на 2025 г. по сценариям ГГИ (УС и СУР) и по сценариям Международной группы экспертов (БКО, ТЭС, ЦЕС) представлено в табл. 12.26.

Наиболее высокие величины водопотребления на перспективу, естественно, получены по Условному Сценарию (УС) ГГИ, который предполагает, что современное отношение к проблемам исполь-

зования пресных вод, какое имеет место в настоящее время, практически останется и в перспективе ближайших десятилетий, т. е. кардинальных изменений к проблеме использования пресных вод в мире не произойдет. Все другие сценарии предполагают кардинальное изменение факторов водопотребления. По показателям глобального водопотребления сценарий ГГИ СУР наиболее близок к сценарию ТЭС, за исключением прогноза величин промышленного водопотребления, которое, как было указано выше, в ТЭС явно занижены. Различия между этими двумя сценариями по континентам и по регионам, более значительны.

Прогнозы водопотребления по континентам по двум сценариям ГГИ представлены выше, на рис. 12.24 и в табл. 12.16. Если по УС увеличение водопотребления прогнозируется по всем континентам, то по СУР динамика водопотребления на перспективу существенно изменится. В Европе, Северной Америке и в Австралии ожидается значительное уменьшение водопотребления (в Европе и Северной Америке на 22–24%, в Австралии —

Таблица 12.26

Полное водопотребление в мире в 1995 г. и в 2025 г. (км³/год) по сценариям: Международной группы экспертов и по сценариям ГГИ (УС и СУР)

Водопотребление	1995	2025				
		ГГИ УС	ГГИ СУР	МГЗ БКО	МГЗ ТЭС	МГЗ ЦЭС
Площадь орошаемых земель, млн га	254	329	306	258	312	267
Население	5,7	7,9	7,9	8,0	7,9	7,5
Сельское хозяйство	2500	3200	2500	2300	2550	1950
Коммунальное потребление	350	610	450	900	400	350
Промышленность	750	1170	670	900	450	300
Водохранилища	190	270	225	200	250	200
Всего (округленно)	3800	5250	3850	4300	3650	2800

на 5%). На других континентах водопотребление вырастет на 33% в Африке, на 21% — в Южной Америке и на 12% — в Азии.

Более детальные данные прогнозов по двум сценариям ГГИ по всем водопотребителям для каждого континента представлены в табл. 12.27–12.30.

Сельскохозяйственное водопотребление по УС увеличивается в среднем по всем континентам от 9 до 31%, а по регионам увеличение изменяется в очень больших пределах: от 2–11% в регионах Европы и Северной Америки до 1,8–3,8 раза в некоторых регионах Африки. В большинстве регионов мира по этому сценарию удельные затраты воды на орошение будут немного уменьшаться или останутся стабильными, а в некоторых регионах может быть даже небольшое увеличение, связанное с проблемами засоления.

Согласно СУР, в Европе и Северной Америке сельскохозяйственное водопотребление уменьшится на 10%, на других континентах предполагается незначительное увеличение (на 1–4%) (табл. 12.27); по регионам величины изменяются от уменьшения на 10–12% до увеличения на 15–20%. Удельное водопотребление на орошение уменьшится во всех регионах в пределах от 10 до 20%.

Коммунальное водопотребление (табл. 12.28) по УС увеличится на всех континентах и во всех регионах от 10–15% (Европа, Северная Америка) до 3–5 раз (некоторые регионы Африки). Согласно СУР, в целом по Европе и Северной Америке коммунальное водопотребление по объему уменьшится на 12–20%, на других континентах прогнозируется рост коммунального водопотребления (в Африке — более чем в три раза). Предполагается, что

удельное водопотребление в л/сут на 1 жителя в регионах Северной Америки (США и Канада), где в 1995 г. оно достигало 700 л/сут, уменьшится примерно до 400 л/сут, в Европе сокращение составит 10–20%. В отдельных регионах Африки и Азии, где удельное водопотребление составляло 30–50 л/сут, оно увеличится более чем в два раза.

Промышленное водопотребление (табл. 12.29) по УС в регионах Европы и Северной Америки увеличится в пределах 8–25%, в регионах с развивающимися странами увеличение будет в 1,5–2,5 раза. Согласно СУР, в целом для континентов Европа, Северная Америка и Австралия, промышленное водопотребление сократится на 33–34%, а в отдельных регионах в 2 раза, в то же время в большинстве регионов Азии и Южной Америки водопотребление увеличится в 1,5–2,5 раза, а в отдельных регионах Африки — в 7 раз. Потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ (табл. 12.30) Европы, Северной Америки и Австралии по СУР возрастут на 10–15%, (по УС рост составит 20–37%), а с водохранилищ Азии, Африки и Южной Америки — на 20–50% (по УС — на 40–100%).

В качестве иллюстрации на рис. 12.29 и 12.30 приведено сопоставление динамики водопотребления за 1995–2025 по двум сценариям ГГИ для регионов, которые включают в себя страны, различные по уровню социально-экономического развития.

Для Центрального региона Северной Америки Центральной и Западной Европы (см. рис. 12.29) (высокоразвитые страны) по СУР следует ожидать значительного уменьшения водопотребления за счет широкого использования водосберегающих технологий. По УС прогнозируется хотя и незначительный, но рост водопотребления.

Для регионов с развивающимися странами (см. рис. 12.30) интенсивность увеличения водопотребления по СУР следует ожидать существенно меньшей, чем по УС.

Степень использования водных ресурсов в виде коэффициента K_v на 2025 г. по СУР по всем регионам и континентам представлена выше, в табл. 12.20. В целом для мира по этому сценарию в 2025 нагрузка на водные ресурсы практически останется на уровне 1995 г.; по континентам и регионам изменения нагрузки весьма существенны, при этом в одних континентах и регионах она уменьшается по сравнению с 1995 г., в других — увеличивается (но значительно меньше, чем по УС).

Данные по численности населения Земли, которое будет проживать в 2025 г. при различной на-

**Характеристики сельскохозяйственного водопотребления по континентам в 1995 г.
и в 2010–2025 гг. по сценариям ГГИ (УС и СУР)**

Континент	1995			Сценарий	2010			2025			2025/1995		
	For	ПВ	УВ		For	ПВ	УВ	For	ПВ	УВ	For	ПВ	УВ
Европа	25,2	170	6700	УС	27,5	202	7300	29,7	208	7000	1,18	1,22	1,04
				СУР	26,8	168	6270	29,4	158	5370	1,17	0,9	0,8
Северная Америка	29,3	283	9700	УС	33,3	300	9000	35,4	308	8700	1,2	1,09	0,9
				СУР	31,1	277	8916	32,6	258,3	7922	1,1	0,9	0,8
Африка	12,3	138	11200	УС	14,6	160	11000	16,5	180	10900	1,34	1,3	0,97
				СУР	13,6	145	10665	14,4	139,8	9710	1,17	1,01	0,87
Азия	175	1785	10200	УС	200	2010	10000	233	2340	10000	1,33	1,31	0,98
				СУР	200,6	1935	9644	215	1859	8634	1,23	1,04	0,85
Южная Америка	9,1	97,9	10800	УС	10,0	107	10700	10,4	115	11100	1,14	1,17	1,03
				СУР	10,9	104,5	9587	11,6	99,9	8612	1,27	1,02	0,8
Австралия и Океания	2,6	15,5	6000	УС	2,9	17,4	6000	3,1	18,5	6000	1,19	1,19	1,0
				СУР	2,94	16,6	5629	3,13	15,8	5054	1,2	1,02	0,84

Примечания. For — площадь орошаемых земель, млн га; ПВ — полное водопотребление, км³/год; УВ — удельное водопотребление, м³/га.

грузке на водные ресурсы, в сравнении по двум сценариям ГГИ представлены выше, в табл. 12.21.

Представленные в табл. 12.20 и 12.21 данные убедительно свидетельствуют о преимуществах развития водопотребления по Сценарию Устойчивого Развития. По этому сценарию нагрузка на водные ресурсы в среднем по миру в ближайшие 25–30 лет практически стабилизируется, а для ряда регионов

может даже несколько уменьшиться по сравнению с современными условиями. При этом резко уменьшится численность населения Земли, проживающего в условиях катастрофически высокой нагрузки на водные ресурсы.

Несколько иные выводы могут быть получены, если сравнивать будущую ситуацию в странах и регионах не по критерию нагрузки на водные ре-

Таблица 12.28

**Характеристики коммунального водопотребления по континентам в 1995 г. и в 2010–2025 гг.
по двум сценариям ГГИ (УС и СУР)**

Континент	1995		Сценарий	2010		2025		2025/1995	
	ПВ	УВ		ПВ	УВ	ПВ	УВ	ПВ	УВ
Европа	66,8	268	УС	75,4	298	78,3	314	1,17	1,17
			СУР	64,6	255	58,9	236	0,88	0,88
Северная Америка	87,9	530	УС	102	523	114	525	1,3	0,99
			СУР	88,5	447	70,0	322	0,8	0,6
Африка	17,7	68	УС	35,4	84	60,5	104	3,4	1,5
			СУР	36,1	85,4	56,8	97,5	3,2	1,43
Азия	155	121	УС	229	146	309	172	2,0	1,42
			СУР	195,3	125	227,6	127	1,5	1,05
Южная Америка	28,8	242	УС	42,6	282	58,9	327	2,0	1,35
			СУР	34,6	230	38,8	215	1,35	0,89
Австралия и Океания	3,3	304	УС	4,0	315	4,5	330	1,36	1,08
			СУР	3,51	276	3,38	239	1,02	0,8

Примечания. ПВ — полное водопотребление, км³/год; УВ — удельное водопотребление, л/сут на человека.

Таблица 12.30

**Потери на дополнительное испарение с водохранилищ
по континентам в 1995 г. и в 2010–2025 гг.
по двум сценариям ГГИ (УС и СУР) (км³/год)**

Континент	1995	Сценарий	2010	2025	2025/1995
Европа	14,4	УС	15,8	17,2	1,2
		СУР	15,5	16,6	1,15
Северная Америка	30,1	УС	34,0	38	1,26
		СУР	31,4	32,9	1,1
Африка	54,0	УС	66,0	77,0	1,4
		СУР	61	67,8	1,25
Азия	70,7	УС	92,2	106,8	1,5
		СУР	78,3	85,9	1,2
Южная Америка	11,65	УС	21,2	24,0	2,06
		СУР	16,1	17,8	1,5
Австралия и Океания	4,5	УС	5,5	6,2	1,37
		СУР	4,8	5,04	1,1

сурсы, а по удельной водообеспеченности, т. е. по количеству располагаемых водных ресурсов за вычетом безвозвратного водопотребления, которое приходится на одного жителя.

Таблица 12.29

**Характеристики промышленного водопотребления
по континентам в 1995 г. и в 2010–2025 гг.
по двум сценариям ГГИ (УС и СУР)**

Континент	1995		Сценарий	2010		2025		2025/1995	
	ПВ	БВ		ПВ	БВ	ПВ	БВ	ПВ	БВ
Европа	204	28,9	УС	242	45,6	256	57,1	1,25	1,97
			СУР	169	36,7	118,7	44,4	0,58	1,54
Северная Америка	284	17,0	УС	307	18,9	325	20,2	1,14	1,19
			СУР	236	17,6	161,6	18,2	0,57	1,07
Африка	9,6	1,25	УС	12,4	1,95	20,2	2,85	2,1	2,3
			СУР	16,8	2,45	27,3	2,96	2,8	2,4
Азия	220	32,0	УС	295	44,4	496	77,4	2,25	2,4
			СУР	268,6	34,5	316,5	38,5	1,4	1,2
Южная Америка	25,8	2,9	УС	42,2	5,2	61,9	9,9	2,4	3,4
			СУР	34,7	4,2	44,6	7,1	1,7	2,4
Австралия и Океания	7,1	0,54	УС	8,8	1,05	10,3	1,43	1,45	2,6
			СУР	5,93	0,88	4,77	1,22	0,67	2,2

Примечания. ПВ — полное водопотребление, км³/год; БВ — безвозвратное водопотребление, км³/год.

Такие данные по регионам и континентам на 2025 по двум сценариям ГГИ представлены выше в табл. 12.22 и в обобщенном виде в табл. 12.23. В соответствии с приведенными данными, практически независимо от сценариев развития водопотребления в ближайшие десятилетия, удельная водообеспеченность в мире будет неуклонно уменьшаться, и на уровень 2025 г. большая часть населения Земли (58%) будет жить в условиях очень низкой и катастрофически низкой водообеспеченности. Это и понятно, поскольку удельная водообеспеченность, главным образом, определяется двумя факторами: величиной располагаемых водных ресурсов и численностью населения. Естественно поэтому, что развивающиеся страны, расположенные в сухом, жарком климате, имеют и будут иметь особенно острую ситуацию с водообеспечением: их естественные водные ресурсы обычно невелики и удельная водообеспеченность резко уменьшается за счет интенсивного роста численности населения и сопутствующего ему увеличения безвозвратного водопотребления (табл. 12.22).

Таким образом, данные, приведенные в табл. 12.20–12.23, позволяют сделать вывод, что для улучшения ситуации с водными ресурсами в регионах и странах мира одновременно по двум критериям (по нагрузке на водные ресурсы и по удельной водообеспеченности), необходимо не только разрабатывать комплекс мероприятий по повышению эффективности использования пресных вод (развитие по СУР), но и изыскивать возможности для увеличения располагаемых водных ресурсов.

12.9. О ВЛИЯНИИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ

12.9.1. Общие положения

Приведенные выше оценки по динамике водопотребления и водообеспеченности для природно-экономических регионов и континентов за период XX столетия и на перспективу до 2025 г., основаны на стационарной климатической ситуации, т. е. без учета проблем, связанных с глобальным потеплением климата, наиболее заметным начиная с начала 1980-х гг. и обусловленным (как полагают большинство климатологов) повышением concentra-

ции в атмосфере CO₂ и других, так называемых парниковых газов. В перспективе, как показано выше, в гл. II, прогнозируется дальнейшее потепление глобального климата по крайней мере до конца текущего столетия, что может привести в целом к крайне негативным экологическим и социально-экономическим последствиям практически для всех природно-экономических регионов мира (IPCC, 2007).

Как показывает анализ данных наблюдений, приведенный во многих публикациях, в условиях потепления климата в последние 20–25 лет во многих регионах мира уже произошли заметные изменения гидрометеорологического режима водных объектов, ярким примером которого является, например, существенное увеличение зимнего стока рек практически на всей огромной территории России (см. выше, разд. 5.5).

Каких-то надежных свидетельств того, что начавшееся к настоящему времени потепление климата уже привело к заметному изменению водопотребления, вряд ли возможно обнаружить, но в перспективе для имеющихся сценариев повышения температуры воздуха и изменения осадков на уровень 2050–2100 гг. естественно могут быть весьма серьезные последствия не только для формирования водных ресурсов, но и для их использования.

Ниже, на основании обзора многочисленных публикаций, рассмотрим кратко те изменения водных ресурсов и гидрологического режима, которые уже произошли в различных регионах мира в условиях современного потепления климата, и что можно ожидать в перспективе для водных ресурсов и водообеспеченности, ориентируясь на различные климатические сценарии будущего. Для этого, наряду с анализом результатов исследований, полученных отдельными авторами, будем широко использовать выводы, приведенные в обобщающих докладах Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) — II, III и IV докладов, опубликованных соответственно в 1995, 2001 и 2007 гг. (IPCC, 1995; 2001; 2007), тем более, что сотрудники ГГИ активно участвовали в подготовке докладов МГЭИК, начиная с I доклада, подготовленного в 1990 г. При этом следует отметить, что последний, IV доклад МГЭИК, существенным образом отличается от всех предшествующих докладов по двум показателям. Во-первых, в нем впервые наряду с оценками возможных последствий глобального потепления на перспективу довольно детально рассматриваются происшедшие за послед-

ние десятилетия изменения гидрометеорологического режима и экологического состояния в различных регионах мира, а, во-вторых, последствия для водных ресурсов и гидрометеорологического режима при оценках на перспективу оцениваются для каждого региона не вообще, а в совокупности с перспективами социально-экономического развития.

12.9.2. Происшедшие изменения гидрометеорологического режима и водных ресурсов

В соответствии с многочисленными данными многих исследователей, опубликованных в основном в 1990-е гг. и обобщенных во II и III докладах IPCC (1995; 2001), установлено, что к концу XX в. наблюдался рост осадков в высоких широтах, наряду с их уменьшением в тропических и субтропических регионах Северной Африки, Восточной и Юго-Восточной Азии, в Юго-Западной части США, в некоторых других засушливых регионах мира.

Согласно (Groisman et al., 1991) повышение осадков на территории бывшего СССР в среднем составило 10% за 100 лет. Изменение осадков в Европе (без бывшего СССР) за последнее столетие зависит от широты. В северной Европе (севернее 55°) наблюдается увеличение осадков (с 1960-х гг.), в центральной Европе никаких заметных положительных тенденций за последние 100 лет не обнаружено (Brazdie, 1992). В южной Европе преобладают отрицательные тренды (Polmieri et al., 1991; Dahlstrom, 1994).

Отмечается некоторое увеличение годовых сумм осадков и для Северной Америки после 1950-х гг. (Karl et al., 1993). В США годовые осадки за последние сорок лет в среднем выросли на 5%, в Канаде — на 10–15%, наиболее существенный рост наблюдается на территории восточной части Северной Америки (Groisman, Easerling, 1994; Findlay et al., 1994; Lettenmaier et al., 1994).

В целом для суши, к 1990-м гг. выявлено незначительное (1%) увеличение осадков. При этом обнаружена некоторая связь между колебаниями осадков и температурой воздуха, которая зависит от широты. В средних и высоких широтах Северного полушария наблюдается повышение осадков и температуры воздуха, а в тропиках, субтропиках и в средних широтах южного полушария увеличение температуры воздуха сопровождается уменьшени-

ем осадков. Это является основной особенностью повышения температуры воздуха, начавшегося с середины 1970-х гг. (IPCC, 1995; 2001).

Вместе с оценками изменений осадков, в 1990-е гг. опубликовано огромное количество работ, посвященных оценке гидрологических последствий глобального потепления.

Начиная с конца 1970-х гг. резко увеличился зимний сток (на 20–50%) на территории европейской части бывшего СССР и в Западной Сибири (бассейны рек Волги, Днепра, Дона, Печоры, Северной Двины, Оби) (Georgievsky et al., 1995; Георгиевский и др., 1996). Значительное увеличение зимнего стока наблюдалось и в странах Северной и Центральной Европы (Bergstrom, Carlsson, 1993; Schuman, 1993; Krasovskaya, 1995 и др.). Аналогичные тенденции изменений стока выявлены и для многих районов Северной Америки (Lins, Michaels, 1994).

Для территории Южной Америки и Карибского бассейна не обнаружено общих тенденций увеличения или уменьшения речного стока (Marenco, 1995; Budyko et al., 1994). Отмечено начавшееся в 1970-е гг. уменьшение стока в Колумбии и на Тихоокеанском побережье. В то же время обнаружилось существенное увеличение осадков и годового стока рек в приэкваториальной зоне континента. Согласно данным (Singh, 1997), в южной части Карибского бассейна с начала 1980-х гг. отмечается значительная тенденция повышения температуры воздуха и уменьшения осадков, что неизбежно приводит к уменьшению водных ресурсов.

Тенденция уменьшения водных ресурсов наблюдалась и на Африканском континенте. По данным (Sirculon, 1990; Oliverly et al, 1993; Sirculon et al., 1999) сток африканских рек в Атлантический океан с 1981 по 1990 г. уменьшился по сравнению со средним за 1950–1990 гг. на 17%, при этом сток рек в засушливой части континента уменьшился на 27%. В Сахельской зоне в 1970–1980-е гг. наблюдался самый засушливый период за все время инструментальных наблюдений; в среднем за 1970–1988 гг. уменьшение стока составило 43% (Sirculon, 1999). В последние годы рассматриваемого периода в этом обширном регионе зарегистрирована тенденция значительного увеличения осадков, что, возможно, свидетельствует об окончании маловодной фазы многолетних колебаний речного стока.

Тенденции изменения стока, наблюдавшиеся в последние десятилетия для засушливых территорий Африки, характерны и для других регионов, испыты-

вающих недостаток водных ресурсов. Так, в Южной Калифорнии в 1987–1992 гг. наблюдалась исключительно суровая засуха, в результате которой годовой сток был ниже нормы на 23% (WRI, 1994). Анализ гидрометеорологических данных для Северного Китая показал (Chunzheu, 1993), что с 1981 г. здесь начался самый теплый период за все годы инструментальных наблюдений, средняя температура воздуха в 1980-х гг. была на 0,5 °C выше нормы. За этот же период осадки были ниже нормы, что привело к значительному уменьшению водных ресурсов.

Тенденция уменьшения осадков и стока рек обнаружена и на значительной части территории Австралии (Thomas, Bates, 1996). В частности, в бассейне основной реки континента (р. Дарлинг) за период с 1974 по 1994 г. годовой сток уменьшился примерно на 40% по отношению к предшествующему многолетнему периоду. Уменьшение осадков и стока рек, начиная с середины 1970-х гг., отмечено и в Новой Зеландии (Mosley, 1991).

Более поздние исследования, опубликованные уже в начале текущего столетия и обобщенные в последнем, IV докладе МГЭИК (IPCC, 2007), в целом подтвердили общие выводы по происшедшему изменению осадков и водных ресурсов по территории суши: увеличение на территории севернее 30° с. ш. и уменьшение, примерно с 1970 г. на большей части территории от 10° ю. ш. до 30° с. ш. При этом в целом для Земли по сравнению с 1970-ми гг. засушливые территории увеличились примерно вдвое.

Так, в Азии тренд уменьшения среднегодовых осадков в течение последних нескольких десятилетий наблюдается в северо-восточном и северном Китае, на аридных равнинах и на побережье Пакистана, на части территории северо-востока Индии, Индонезии и Филиппин, в некоторых районах Японии. Вместе с этим тенденция увеличения годовых осадков наблюдается в западном Китае, в бассейне Янцзы и на юго-восточном побережье Китая, а также на Аравийском полуострове, в Бангладеш и на западном побережье Филиппин. При этом установлено, что частота событий с наиболее интенсивными осадками во многих частях Азии увеличивается, обуславливая интенсивные паводки, сели и оползни, в то время как количество дней с дождями и общий годовой объем осадков могут уменьшиться (Mirza, 2002; Lal, 2003; Min et al, 2003; Zhai, 2004).

В Западной Африке имеет место уменьшение годовых осадков с конца 1960-х гг.: с 1968 по 1990 г. осадки уменьшились по сравнению с периодом

1931–1960 гг. от 20 до 40% (Chappell and Agnew, 2004; Dai et al., 2004).

Постоянное уменьшение зимних осадков и стока середины XX столетия наблюдается в юго-западных районах западной Австралии. Уменьшение естественного годового притока в водохранилища г. Перс за этот период составило примерно 50%. В последние годы интенсивная многолетняя засуха охватила восточные и другие регионы южной Австралии. Суммарный сток реки Муррей за последние (до 2006 г.) пять лет был самым низким за пятилетку в течение всего периода наблюдений (IPCC, 2007).

Тенденция уменьшения годовых осадков отличается в восточной части средиземноморского бассейна Европы (Norrant, Donquedrait, 2006). Вместе с этим средние зимние осадки увеличились на большей части Атлантической и Северной Европы. При этом увеличение суточных осадков наблюдается на большей части континента, даже на некоторых территориях, где годовые осадки уменьшаются (Frich et al., 2002; Alexander et al., 2006).

В Латинской Америке увеличение осадков наблюдается в Южной Бразилии, Парагвае, Уругвае, в северо-восточной Аргентине, на части территории Боливии, на северо-западе Перу, Эквадора и Мексики. Вместе с тем тренд уменьшения осадков имеет место в Чили, на юге западной Аргентины и в северо-восточной Бразилии, на юге Перу и на западе Центральной Америки. Во многих регионах континента наблюдается положительная тенденция увеличения интенсивности дождей и сухих периодов. Соответственно произошло увеличение гидрометеорологических экстремумов, таких как паводки, оползни, засухи, резко возросло количество климатически обусловленных бедствий (Aquilaretal., 2005; Allxander et al., 2006; Haycock et al., 2006; Marenqo, Camarqo, 2007).

Повышенные осадки обусловили на 10% увеличение частоты паводков на р. Амазонке у Обидаса; на 50% увеличились расходы на реках Уругвай, Парана и Парагвай; стало больше паводков в бассейне о Мамора в Боливийской Амазонии (Callede et al., 2004; Camilloni, 2005; Ronchail et al., 2005).

В Северной Америке годовые осадки увеличились на большей части континента, особенно значительно на севере Канады, но уменьшились на Юго-Западе США, в канадских Прериях и в восточной Арктике (Trenberth et al., 2003; Henqeveld et al., 2005; Shein, 2006); отмечено для территории США увеличение частоты выпадения особенно

интенсивных осадков (Kunkel et al., 2003; Groisman et al., 2004).

Значительно уменьшилась доля осадков, выпадающих в виде снега на западе США и в Западной Канаде (Knowles et al., 2006; Vincent, Mekis, 2006); количество дней без осадков увеличилось на всей территории Северной Америки.

За последние 60 лет сток рек в восточной части США увеличился на 25% (Groisman et al., 2004), но значительно уменьшился в бассейнах рек Колорадо и Колумбия (Walter et al., 2004).

Летний сток на главных реках Западных Прерий Канады стал на 20–84% ниже, чем был в начале XX столетия (Schindler, Donahne, 2006). Главные факторы такого снижения: водохранилища и дамбы, водопотребление, а также потепление климата с его воздействием на суммарное испарение и запасы снега. В нижнем течении реки Атабаска с 1970 г. летний сток уменьшился на 30% (Timoney, 2006).

Сток таких рек, как Пиес и Олд Мэн уменьшился на 40–60% по сравнению с историческими значениями (Schindler, Donahul, 2006).

Таким образом, выполненный анализ изменений за последние 20–25 лет характеристик климата и водных ресурсов в различных регионах мира, выявил весьма неблагоприятную тенденцию с точки зрения общей ситуации с состоянием водных ресурсов в глобальном масштабе: увеличение осадков и водных ресурсов в северных регионах (где они и так достаточны) и уменьшение в регионах с засушливым климатом, где и в стационарных климатических условиях очень велика нагрузка на водные ресурсы и особенно интенсивно уменьшается удельная водообеспеченность.

12.9.3. Прогнозная оценка изменений количества осадков, водных ресурсов и водообеспеченности

Для оценок на перспективу антропогенных изменений климатических характеристик в последние два десятилетия в различных странах разработано большое количество МОЦАО, которые рассчитывают для всей территории суши сценарии ожидаемых изменений месячной температуры воздуха и осадков и других климатических характеристик для разных величин концентрации парниковых газов в атмосфере, а также аэрозолей.

Важно отметить, что согласно всем сценариям, глобальное потепление крайне неравномерно рас-

пределяется по территории Земли, имея наибольшие значения в высоких широтах и наименьшие в экваториальной зоне. Например, при глобальном потеплении на 2–3 °С в отдельных регионах, особенно расположенных в высоких широтах, можно ожидать повышения температуры до 5–6° и даже больше, в то время как потепление в экваториальной зоне может быть очень незначительным, в пределах 0–1 °С (IPCC, 1995, 2001). Эти общие особенности ожидаемого глобального потепления в значительной степени типичны для всех сценариев, как основанных на МОЦАО, так и палеоклиматических.

Для оценки гидрологических последствий глобального потепления в начале 1990-х гг. чаще всего использовались сценарии, полученные по следующим МОЦАО при 2·CO₂: GFDL (США), UKMO (Великобритания), GISS (США), CCC (Канада). В последующие годы широко используются новые климатические сценарии, разработанные на основе МОЦАО в Германии (модель ECHAM5), в США (модель GFDL — RIS), в Канаде (модель CGCM1) и в Великобритании (различного вида модели HadCM2), которые имеют существенно большее разрешение и дают изменения климатических характеристик для различных величин повышения глобальной температуры.

В частности, сценарии, полученные по этим моделям, были рекомендованы (IPCC, 2001) для оценки различных последствий глобального потепления климата. В самых последних работах, опубликованных в основном после 2005 г. и обобщенных в последнем, четвертом докладе МГЭИК (IPCC, 2007) часто используются усовершенствованные варианты указанных выше моделей, которые, как показали исследования, выполненные для территории России (см. выше, разд. 11.2), хотя и дают более высокое разрешение, но ничуть не лучше отражают особенности современного климата. Кстати сценарии, основанные на этих последним моделях для территории России существенно отличаются от своих первых вариантов, однако их использование вносит в оценки никак не меньше неопределенностей в отношении изменений осадков и температуры воздуха.

Помимо модельных сценариев, ученые России и других стран бывшего СССР в конце 1980-х — начале 1990-х гг. для оценки влияния изменений климата на гидрологические характеристики в основном широко использовали палеоклиматические сценарии при потеплении на 1–2 °С и на 3–4 °С,

разработанные в ГГИ под руководством М. И. Будыко (Будыко и Израэль, (ред.), 1987; Budyko et al., ed., 1991).

За последнее десятилетие по оценке гидрологических последствий ожидаемых антропогенных изменений климата опубликовано огромное количество работ. При этом большая часть их относится к Европе, Северной Америке и Австралии. Большинство исследователей для оценки изменений различных гидрологических характеристик используют специально разработанные гидрологические модели речных водосборов, для которых изменения климатических характеристик по различным сценариям являются входными данными. В последние годы целый ряд авторов для оценки гидрологических последствий пытаются напрямую использовать глобальные или региональные климатические модели (Manabe et al., 2004; Meleshko et al., 2004; Milly et al., 2005; Nohara et al., 2006). Следует отметить, что такой подход, когда сток оценивается по разности осадков и испарения, если и приемлем, то только для самых приближенных оценок, осредненных за многолетний период годовых значений стока в глобальном масштабе. И, конечно, ввиду очень больших погрешностей, он совершенно непригоден для оценки изменений гидрологических характеристик за короткие интервалы времени для конкретных речных водосборов, поскольку характер этих изменений во многом определяется специфическими условиями каждого водосбора, которые не учитываются и не могут быть учтены климатическими моделями.

Ниже приводятся краткие выводы результатов исследований гидрологических последствий ожидаемых в перспективе антропогенных изменений климата, полученных за 1990-е гг. и обобщенных во втором и третьем докладах МГЭИК (IPCC, 1995; 2001), а также опубликованных в самые последние годы и отраженных в четвертом докладе МГЭИК (IPCC, 2007). Выводы для конкретных речных водосборов и регионов представлены для различных физико-географических зон: холодного и умеренного климата, аридного и семиаридного, влажного тропического.

Зоны холодного и умеренного климата

Эта зона характеризуется формированием большей части стока весной в период таяния снежного покрова. К этой зоне относятся регионы северной части Северной Америки, Северной и Восточной

Европы, большей части России и Канады, Казахстана.

Как показано выше (см. разд. 11.2), многочисленные исследования, выполненные в разных странах, начиная с 1990-х гг. применительно к рекам бассейна Северного Ледовитого океана, который практически целиком относится к рассматриваемой зоне, убедительно свидетельствуют об ожидаемом в перспективе в условиях глобального потепления увеличении их годового стока и более выровненного распределения внутри года с соответствующим увеличением притока пресных вод в океан к середине текущего столетия примерно на 10–20%. Эти выводы получены разными авторами с использованием самых различных климатических сценариев, исходных данных и методических подходов (Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003).

Исследования, выполненные в те же годы в Скандинавских и Прибалтийских странах с использованием различных модельных сценариев и гидрологических моделей, показали в общем близкие результаты: значительное увеличение зимнего стока, уменьшение объема весеннего половодья и более раннего его начала, незначительное изменение летнего стока; увеличение годового стока и более равномерное его распределение в течение года. В общем, эти выводы подтверждаются исследованиями влияния глобального потепления на приток речных вод в Балтийское море.

Несмотря на эти общие выводы, целый ряд авторов подтверждает наличие больших неопределенностей в оценках, полученных по различным сценариям для одних и тех же водосборов. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты детальных исследований, выполненных для территории Польши (Kaczmarek, Napiorkowski, 1996). Используя CFDL и GISS сценарии при $2 \cdot \text{CO}_2$ для 31 водосбора Польши, авторы пришли в общем к прямо противоположным выводам. Согласно GFDL, следует ожидать, что годовой сток в Центральной Польше уменьшится более чем на 20%, а летний — более чем на 30%. Согласно GISS ожидается обратная ситуация: годовой сток может увеличиться более чем на 20%, включая сток за летние месяцы. Для страны в целом при $2 \cdot \text{CO}_2$ по CFDL водные ресурсы уменьшатся на 13%, а по GISS — увеличатся на 11%.

Очень детальные исследования для различных водосборов и районов, начиная с 1980-х гг. выполняются в Великобритании; результаты этих исследований широко представлены в (IPCC, 1995) и в

работе (Arnell, 1992). В одном из исследований, выполненных для 6 близко расположенных водосборов в юго-западной Англии с использованием одного и того же сценария, относящегося условно к 2050 г., были получены довольно неожиданные результаты: в четырех водосборах годовой сток уменьшается в пределах от 7,0 до 30,9%, а в двух других — увеличивается от 7,4 до 20,7%. По всей видимости, главная причина таких результатов объясняется почвенными и геологическими особенностями водосборов, определяющими условия испарения и приток подземных вод, которые не в полной мере учитываются используемыми в расчетах гидрологических моделями. Практически это вполне возможно, однако многие авторы отмечают, и это один из выводов (IPCC, 2007), что неопределенности в результатах, обусловленных разными модельными сценариями, как правило всегда выше, чем за счет ошибок гидрологических моделей.

Возможные в будущем изменения гидрологического режима Дуная оценены по трем модельным сценариям на уровень 2050 г. Возможные изменения в годовом и месячном стоке реки оказались незначительными по всем трем сценариям, в среднем в пределах $\pm 10\%$; только по одному сценарию получено уменьшение стока в августе на 25%. Увеличение годового стока составило 2–5% по всем трем сценариям. Учитывая погрешности таких оценок, следует ожидать практически стабильного гидрологического режима Дуная в условиях глобального потепления в первой половине текущего столетия (IPCC, 1995).

Начиная с конца 1980-х гг. особенно много исследований по оценке влияния прогнозируемого глобального потепления на гидрологические характеристики выполнено в США и Канаде; некоторое обобщение результатов этих исследований было представлено в работах (Waggoner et al., ed., 1990; Шикломанов, Линз, 1991; Frederick et al., ed., 1997 и др.). Обобщая весьма разноречивые результаты многочисленных исследований, выполненных в те годы, оказалось возможным лишь очень приблизительно установить некоторые тенденции изменений стока при глобальном потеплении в отдельных регионах США и Канады:

- север и северо-восток — незначительное увеличение годового стока и паводков;

- Калифорния — значительное увеличение зимнего стока, уменьшение летнего стока; незначительное увеличение годового стока;

— Великие Озера — уменьшение стока;
 — в остальных регионах имеют место еще большие неопределенности в изменениях осадков и стока рек.

Исследования, выполненные в самые последние годы и обобщенные в IV докладе МГЭИК (IPCC, 2007) в полной мере подтверждают приведенные выше основные выводы. Так, результаты, полученные по ансамблю из 24 сценариев на основе 12 МОЦАО показали, что среднегодовой сток к 2050 г. в высоких широтах Северной Америки и Евразии увеличится на 10–40% по отношению к периоду 1900–1970 гг. (Milly et al., 2005; Nohara et al., 2006).

По данным (Alcamo et al., 2006) по оценкам по двум различным моделям следует ожидать увеличения годового стока в северной Европе (севернее 47° с. ш.) приблизительно на 5–15% к 2020 гг. и на 9–22% к 2070 г. По самым последним оценкам (Meehl et al., 2007) с использованием различных сценариев и моделей прогнозируется к середине текущего столетия увеличение стока основных речных систем в бассейне СЛО на 10–30%.

В работе (Barnett et al., 2005), который обобщил результаты полученных различными авторами перспективных оценок ожидаемых изменений сезонного стока для территорий, где зимние осадки выпадают в виде снега (Альпы, восточная, западная и центральная Северная Америка, территория России, Скандинавия и Балтийские регионы), сделаны общие выводы, что в этих регионах следует ожидать увеличение зимнего и уменьшение летнего стока; при этом во многих случаях максимум весеннего половодья будет проходить по крайней мере на месяц раньше. Соглашаясь с этим автором в отношении ожидаемых изменений зимнего стока и пика половодья, отметим, что для территории России весьма сомнительным является прогнозируемое уменьшение летнего стока. По оценкам российских ученых, в результате повышения уровней грунтовых вод за счет увеличения инфильтрации талых вод в зимний период, на большей части равнинной территории России уже в настоящее время происходит значительное увеличение летне-осеннего стока и это же явление ожидается в перспективе ближайших десятилетий (см. выше, разд. 5.4 и 11.2).

Более детально результаты оценок гидрологических последствий ожидаемых антропогенных изменений климата для различных регионов и речных бассейнов территории России приведены выше, в разд. 11.2.

Влажные тропические регионы

Для влажных тропических регионов в 1990-е гг. оценка влияния глобального потепления на водные ресурсы выполнена для речных бассейнов Венесуэлы, для бассейна р. Ла-Плата в Уругвае, для крупнейшего в Азии международного бассейна р. Меконг, для бассейнов и регионов трех стран юго-восточной Азии: Индонезии, Малайзии и Таиланда, а также для некоторых регионов Африки, Индии и Шри-Ланки, Китая (Shiklomanov I. A., Shiklomanov A. I., 1999; Shiklomanov, Georgievsky, 2003).

Для бассейна р. Меконг (Mecong Secretariat, 1990), использовались климатические сценарии по трем GCM (GISS, GFDL и UKMO). Для всех принятых сценариев отмечается значительное увеличение осадков и стока во влажные месяцы; уменьшение осадков в сухие месяцы незначительно, но продолжительность периода с дефицитом осадков увеличивается. Все это приведет к большей неравномерности стока в течение года и необходимости проведения мероприятий по его регулированию.

Гидрологические последствия изменений климата для водосборов и регионов Индонезии, Малайзии и Таиланда были исследованы в работе (Parry et al., ed., 1991; Toth, 1993). Климатические сценарии принимались для $2 \cdot \text{CO}_2$ по трем типам GCM. Главный вывод оценок для этих регионов — во влажные сезоны будет отмечаться большее количество осадков, а следовательно, и увеличение стока, в то время как в сухой сезон будет усиливаться дефицит воды.

Оценка влияния глобального потепления на водные ресурсы трех речных бассейнов Индонезии приведена в работе (Rozargi et al., 1990), где делается вывод о значительном увеличении их месячного стока; одновременно увеличатся процессы эрозии и уменьшится продуктивность почв.

Применительно к территории Индии наиболее детальные исследования по проблеме выполнены для двух густо населенных урбанизированных районов — Бомбея и Мадраса с использованием сценариев по трем МОЦА при $2 \cdot \text{CO}_2$ (Leichenko, 1993). Анализ результатов расчетов привел к выводу об очень большой неопределенности в отношении будущих водных ресурсов и водообеспеченности для этих крупнейших, быстро развивающихся мегаполисов Индии в условиях глобального потепления по принятым сценариям.

Для территории Шри-Ланки результаты исследований приведены в работе (Nophadol, Hemantha,

1992), где сравниваются различные МОЦАО в отношении их возможности адекватно отражать данные наблюдений за осадками и температурой воздуха. Авторы пришли к выводу, что для территории Шри-Ланки наилучшие результаты могут быть получены с использованием сценариев по моделям GISS и UKMO. При $2 \cdot \text{CO}_2$ эти модели дают увеличение суточных и месячных осадков в сезон дождей при незначительном изменении годовой суммы осадков. Период максимальных осадков (с апреля по июль) сместится на сентябрь–ноябрь; при этом период межсезонного стока увеличится, возрастет вероятность засух.

Анализ влияния изменений климата на водные ресурсы р. Замбези в Африке приведен в работе (Urhiztondo et al., 1991) с использованием сценариев по различным моделям МОЦАО. При этом были получены принципиально различные выводы. Расчеты показали, что по сценариям GFDL и GISS при $2 \cdot \text{CO}_2$ следует ожидать уменьшения, а по сценарию UKMO увеличения стока р. Замбези.

Столь же различные выводы для некоторых речных водосборов африканского континента приведены в обзорной публикации (Sirculon et al., 1999), а также получены в ряде исследований для крупных водосборов Южной Америки. Например, для р. Уругвай в Южной Америке исследования с использованием трех моделей (GFDL, GISS и UKMO) показали, что все три модели недостаточно адекватно оценивают современный климат. Расчеты стока реки с использованием сценариев по этим моделям при $2 \cdot \text{CO}_2$ привели к выводу, что по сценариям GISS и UKMO сток рек в бассейне Уругвая уменьшится соответственно на 11,7% и 6,4%, а по сценарию GFDL — увеличится на 21,5%.

Исследования по приближенной оценке при глобальном потеплении возможных изменений водных ресурсов Южной Америки выполнены в ГГИ (Budyko et al., 1994) с использованием климатических сценариев, основанных на палеоклиматических реконструкциях теплых эпох прошлого и простой воднобалансовой гидрологической модели. В соответствии с этими исследованиями, при глобальном потеплении на 1°C и на 2°C следует ожидать увеличения водных ресурсов южно-американского континента на 8–10%, при этом наиболее существенное увеличение возможно для бассейна р. Амазонка, а в бассейне рек Уругвай и Парагвай может произойти даже незначительное уменьшение водных ресурсов.

Как следует из приведенных выше результатов оценок применительно к влажным тропическим регионам, практически все они имеют очень большие неопределенности, обусловленные, прежде всего принятыми климатическими сценариями. В общем это и понятно, поскольку для таких регионов преобладающую роль в оценках изменений годового и сезонного стока рек имеют прогнозируемые величины осадков, которые все МОЦАО дают с очень большими погрешностями. Тем не менее, для рассматриваемых регионов с муссонным климатом вполне возможно сделать вывод о наиболее вероятном в перспективе увеличении стока рек в сезон дождей и уменьшения в сухой период года с возрастанием вероятности наступления засух.

Указанные выводы в полной мере подтверждаются результатами исследований, выполненных в самые последние годы.

Так, согласно данным, приведенным в работе (Hoanh et al., 2004), в перспективе ожидается, что для р. Меконг максимальный месячный сток увеличится на 35–41% в бассейне и на 16–19% в дельте, причем меньшая цифра относится к периоду 2010–2038, а большая — к 2079–2099 г. в сравнении с уровнем 1961–1990 гг. И наоборот, минимальный месячный сток уменьшится на 17–24% в бассейне и на 26–29% в дельте. Таким образом, предполагается, что увеличится риск паводков в течение влажного сезона и возможность дефицита воды в сухой сезон.

Общие выводы, приведенные в (IPCC, 2007) и основанные на обобщении результатов многочисленных исследований, выполненных в разных странах мира и в том числе на глобальных оценках с использованием самых различных климатических и социально-экономических сценариев (Arnell, 2003a; Milly et al., 2005; Nohara et al., 2006), сводятся к тому, что во многих регионах влажных тропиков в перспективе следует ожидать существенного увеличения осадков и годового стока рек. При этом отмечается, что этот вывод имеет высокую степень неопределенности. Вместе с тем предполагается, что в большинстве регионов наиболее вероятно увеличение интенсивности осадков, что приведет к увеличению риска наводнений. Одновременно будет иметь место тенденция иссушения территории в сухой период.

Аридные и семиаридные регионы

Оценка гидрологических последствий глобального потепления для засушливых и полусушливых районов в 1990-е гг. выполнена для южной части

европейской территории России и сопредельных стран, для многих речных бассейнов США, для Австралии, Южной Америки, Африки, включая Сахельскую зону, и Азии. При этом наиболее детальные материалы с использованием различных вариантов сценариев будущего климата и комплексным анализом последствий полученных для речных бассейнов США, расположенных в засушливом климате (Frederiek, Major, 1997). Эти исследования показывают, что даже относительно малые изменения в температуре и осадках могут привести в районах недостаточного увлажнения к весьма значительным изменениям водных ресурсов. При этом речной сток в этих районах более чувствителен к изменениям осадков, чем температуры воздуха.

Аналогичные выводы были представлены ранее в обзорах деятельности МГЭИК (Shiklomanov et al., 1990; Stakhiv et al., 1992), а также в исследованиях, выполненных в разных странах (Sircunlon, 1990; Шикломанов, Линз, 1991; Chang et al., 1992; Shiklomanov I. A., Shiklomanov A. I., 1999) и др.

В общем, исследования, выполненные в различных странах, показали, что речные водосборы в аридных и семиаридных районах очень чувствительны даже к весьма незначительным изменениям климатических характеристик. Повышение температуры воздуха на 1–2 °С и уменьшение осадков всего на 10% могут привести здесь к уменьшению годового и сезонного стока до 40–60%.

Рассматривая последствия глобального потепления на гидрологические условия аридных регионов, особенно следует остановиться на наиболее засушливом африканском континенте и, в частности, на проблеме Сахельской зоны, где начиная с 1970-х гг. постоянная засуха стала настоящим бедствием для многих африканских стран. В конце 1980-х гг. в этом регионе наметилась тенденция значительного увеличения осадков (Sircunlon, 1999), и это дало ряду климатологов полагать, что глобальное потепление приведет к дальнейшему увеличению осадков в этом регионе при практически неизменной температуре воздуха, и в этом случае наиболее вероятно тенденция существенного увеличения водных ресурсов. Однако по данным расчетов на трех типах GCM с наибольшим разрешением (IPCC, 1991), температура воздуха здесь при 2·CO₂ возрастет на 1–2 °С, а осадки в холодный период уменьшатся на 5–10%, а в летний — возрастут до 5%; очевидно, что при таком сценарии ожидать тенденцию увеличения водных ресурсов не приходится.

В соответствии с самыми последними данными (IPCC, 2007), африканский континент теплеет быстрее по сравнению со средней глобальной температурой, причем субтропические территории теплеют больше, чем влажные экваториальные регионы. При этом изменения осадков весьма различны. В общем, за исключением влажных экваториальных территорий и восточной Африки, регионы будут испытывать уменьшение осадков, особенно выраженное на юге континента и на Средиземноморских прибрежных территориях. Для южного Сахеля и побережья Гвинеи модели дают различные результаты: одни прогнозируют значительное иссушение, другие — прогрессирующее увлажнение. Однако большинство данных указывают на продолжение иссушения Сахельской зоны.

В ряде засушливых регионов Азии в соответствии с выполненными модельными оценками также наиболее вероятно в перспективе уменьшение осадков и водных ресурсов: например, как показано в работе (Чуб, 2007), в бассейнах рек Сыр-Дарья и Аму-Дарья к 2030 г. можно ожидать уменьшения стока рек за вегетационной период на 10–25% по отношению к периоду 1961–1990 гг.

В Ливии годовые водные ресурсы могут уменьшиться на 15% по оценкам на моделях при повышении температуры на 1,2 °С и удвоении концентрации CO₂, при увеличении речного стока зимой и уменьшении в весенний период (Bou-Zeid, El-Fadel, 2002).

В крупнейшем речном бассейне Австралии (Муррей-Дарлинг) годовой сток вероятно уменьшится на 10–25% к 2050 г. и на 16–48% к 2100 г.; уменьшение стока 29 речных бассейнов в провинции Виктория ожидается от 0 до 45%; вероятно на 6–8% уменьшение годового стока на большей части восточной Австралии и на 14% в юго-Западной Австралии в период 2021–2050 гг. по отношению к 1961–1990 гг. (Beare, Heaney, 2002; Jones, Durack, 2005; Chiew et al., 2003).

Уменьшение водных ресурсов прогнозируется в районах недостаточного увлажнения Европы: в центральных, Средиземноморских и частично восточных регионах (Menzel, Burger, 2002; Chanq et al., 2002; Iglesias et al., 2005). В южной Европе (южнее 47 °СШ) сток уменьшится на 0–23% к 2020-м гг. и на 6–36% к 2070-м гг. (Alcamo et al., 2006), уменьшение годовых осадков и речного стока следует ожидать в засушливых регионах юго-Запада США (Christensen et al., 2007).

По выводам (IPCC, 2007), к середине текущего столетия прогнозируется уменьшение годового стока в целом ряде сухих регионов средних широт и в сухих тропиках. Многие семиаридные и аридные регионы (например, Средиземноморские бассейны, юго-запад США, Южная Африка и Северо-Восточная Бразилия), которые и в естественных условиях подвержены большому воздействию климатических колебаний на пресные воды, будут особенно страдать от уменьшения водных ресурсов при антропогенном потеплении климата.

В связи с прогнозируемым глобальным потеплением, во многих регионах и странах мира могут произойти заметные изменения величин и структуры водопотребления, возможно усиление конфликтов и противоречий между отдельными водопотребителями.

Как показано выше, основным потребителем пресной воды в мире является орошение, оно же наиболее чувствительно к изменениям климатических условий. Поэтому именно проблема влияния возможных антропогенных изменений климата на сельскохозяйственное водопотребление находится в центре внимания исследователей.

В 1990-е гг. особенно много работ в этом направлении выполнено для различных регионов США (Peterson, Keller, 1990; Frederick, 1991; Easterling et al., 1991; McCahe, Wolock, 1992; Frederick et al., 1993; и др.); имеются исследования для России, Польши, некоторых стран Южной Африки (Георгиевский и др. 1993; 1996; Kaczmarek, 1996; и др.) Все эти исследования показали, что значительные изменения температуры воздуха и осадков (при $2 \cdot \text{CO}_2$) могут существенно повлиять на условия развития ирригации в районах с неустойчивым увлажнением. При этом увеличение водопотребления на орошение больше всего связано с повышением температуры воздуха и в меньшей степени с изменением осадков.

В ходе исследований было обращено внимание на очень важное обстоятельство, а именно, что возможное в будущем при глобальном потеплении потребление воды при ирригации и вообще растительности в значительной мере может зависеть не только от изменений температуры воздуха и осадков, но и от непосредственного влияния концентрации CO_2 на процессы фотосинтеза растениями. Увеличение концентрации CO_2 способствует увеличению сопротивляемости растений к передвижению водяного пара в листьях (стоматический эффект), в результате чего транспирация на едини-

цу площади листьев уменьшается. Некоторые эксперименты (Rosenberg et al., 1990) показали, что за счет этого эффекта удвоение концентрации CO_2 может уменьшить удельную транспирацию в среднем до 50%. С другой стороны, повышение концентрации CO_2 стимулирует рост растений и увеличивает площадь листьев, что приводит к увеличению транспирирующей поверхности, а следовательно, транспирации.

Учет или неучет этого фактора может привести к самым различным выводам. Применительно к годовому стоку важность учета непосредственного влияния концентрации CO_2 на транспирационную способность растений была показана еще в 1980-х гг. для речных водосборов США (штат Аризона) и Австралии (Idso and Brusel, 1984; Aston, 1987). Эти авторы получили выводы, прямо противоположные результатам многих других исследователей: а именно удвоение концентрации CO_2 дало увеличение годового стока исследуемых рек США на 40–60%, а рек Австралии — на 60–80%.

Последующие исследования показали, что относительная величина воздействия указанных двух факторов в значительной степени зависит от вида растений, наличия нитратов, характера изменений температуры и водообеспеченности.

В настоящее время имеются гидрологические модели, которые позволяют оценить эффект влияния на сток увеличения концентрации CO_2 в совокупности с динамикой растительности (Rosenbeg et al., 2003; Gordon, Famiglietti, 2004; Betts et al., 2006).

Выполненные исследования с моделями динамики глобальной растительности показали, что stomатический эффект в незначительной степени может доминировать над эффектом увеличения площади листьев; применительно к ситуации с оценкой изменений глобального стока при $2 \cdot \text{CO}_2$ это дает дополнительное увеличение всего примерно на 5% за счет уменьшения суммарного испарения (Betts et al., 2006; Leipprand, Gerten, 2006). В общем это очень незначительная величина в сравнении с возможным влиянием потепления климата и, учитывая наличие очень многих неопределенностей в такого рода оценках на столь отдаленную перспективу, ими вполне можно пренебречь. В целом же применительно к конкретным речным водосборам эта проблема требует дальнейшего изучения.

Антропогенные изменения климата могут оказывать влияние не только на потребности в воде орошения, но и коммунального и промышленного

водоснабжения, однако, естественно, в значительно меньшей степени. Об этом свидетельствуют данные, приведенные, например, в работах (Hughes et al., 1994; Herrington, 1996; Boland, 1997; Frederic, et al., ed., 1997). Анализ результатов этих работ показал, что антропогенные изменения климата не играют такой большой роли в динамике будущего водопотребления в урбанизированных районах, как рост численности населения и изменения социально-экономических факторов.

Как уже указывалось выше, при подготовке IV доклада МГЭИК большое влияние уделялось перспективной оценке гидрологических и водохозяйственных последствий глобального потепления в совокупности со сценариями социально-экономического развития в мире (IPCC, WGII Ch3). В частности, широко использовались четыре сценария социально-экономического развития; это так называемые IPCC SRES сценарии (Special Report on Emissions Scenarios: Nakicenovic, Swart, 2000), которые рассматривают возможные изменения в численности населения и хозяйственной деятельности в глобальном масштабе в течение XXI столетия. Согласно этим разработкам, по первым двум сценариям (A1 и B1) предполагается, что в мировой экономике будут доминировать глобальная торговля, а наибольшая численность населения достигнет 8,7 млрд к 2050 г., а далее стабилизируется, и даже будет уменьшаться. По другим двум сценариям (A2 и B2) ожидается значительно меньшая глобализация и кооперация с ростом численности населения вплоть до 2100 г., достигая величин 10,4 млрд по сценарию (B2) и 15 млрд по сценарию (A2).

Используя социально-экономические сценарии (A2) и (B2) и климатические сценарии по различным МОЦАО, Arnell (2004) и Alcamo и др. (2007) выполнили детальные оценки ожидаемой численности населения в мире, которые будут иметь дефицит водных ресурсов (менее 1000 м³ в год на одного человека). Как и следовало ожидать, оба автора по сценарию (A2) получили существенно большее число жителей Земли, которые будут испытывать дефицит водообеспеченности; по данным первого автора в 1,4–1,6 раз, второго — в 1,3–1,8 раз. Следует отметить, что приведенные величины носят весьма условный характер и по ним вряд ли возможно судить о влиянии глобального потепления. Как убедительно показано выше, в разд. 12.8.3, при оценке на перспективу изменений удельной водообеспеченности в глобальном масштабе решающим фактором является динамика численности

населения, а не возможные изменения водных ресурсов, будь то за счет естественных колебаний или антропогенных изменений климата.

Приведенный выше краткий обзор исследований, выполненных за последние два десятилетия, позволяет сделать следующие общие выводы по проблеме влияния антропогенных изменений климата на водные ресурсы и обеспеченность.

1. В последние 20–25 лет наблюдается тенденция заметного увеличения водных ресурсов и изменения их внутригодового распределения в зонах холодного и умеренного климата и уменьшения в регионах с засушливым климатом, что обусловлено соответствующими изменениями температуры воздуха и осадков. При этом в целом для Земли засушливые территории значительно увеличились. Можно полагать, что эти изменения являются следствием глобального потепления, интенсивность которого существенно увеличилась с конца 1970-х гг.

2. Результаты выполненных исследований показывают большую вероятность к середине текущего столетия увеличения (до 15–30%) годового стока и водообеспеченности в высоких широтах (севернее 40° с. ш. в районах холодного и умеренно-холодного климата, а также в некоторых влажных тропических регионах, и еще более существенного изменения сезонного стока.

3. Вместе с тем во многих сухих регионах средних широт и в сухих тропиках следует ожидать уменьшения водных ресурсов и водообеспеченности на 10–20%, что связано главным образом с изменениями осадков. При этом отмечено, что даже самые последние МОЦА, применяемые для оценки климатических сценариев имеют большие неопределенности, особенно в отношении изменений осадков.

4. Принимая во внимание прогнозируемые температуры антропогенного потепления (к 2020–2025 гг. увеличение глобальной температуры в среднем на 0,6° по сравнению с периодом до 2000 г.) и большую неопределенность существующих климатических сценариев, при оценках водных ресурсов, водопотребления и водообеспеченности в глобальном масштабе на уровень 2010–2025 гг. вполне возможно не учитывать влияние антропогенных изменений глобального климата, поскольку погрешности от такого неучета намного меньше суммарных погрешностей современных оценок водопотребления, прогнозирования развития экономики и численности населения во многих странах и регионах мира, которые являются основными факторами,

определяющими величины водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы.

5. За пределами 2040–2050 гг. учет влияния антропогенных изменений климата на водные ресурсы, водопотребление и водообеспеченность по всей видимости представляется необходимым, особенно для районов недостаточного увлажнения.

12.10. ПУТИ УСТРАНЕНИЯ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Как показано выше, в мире очень быстро растет нагрузка на водные ресурсы и во многих регионах и странах резко уменьшается удельная водообеспеченность. Если в перспективе водное хозяйство будет развиваться таким же образом, как это было в прошедшие десятилетия, то следует ожидать, что к 2025 г. 40% населения Земли будет жить в регионах с катастрофически высокой нагрузкой на водные ресурсы. Если принять действенные меры по улучшению технологии использования воды в мире (как это предусмотрено разработанными в ГГИ сценариями СУР), то это приведет к стабилизации мирового водопотребления и к резкому снижению нагрузки на водные ресурсы (см. табл. 12.20 и 12.21). Однако даже в этих условиях в результате быстрого роста численности населения водообеспеченность в мире останется на очень низком уровне (см. табл. 12.22 и 12.23) и 40% населения Земли будут иметь менее 1000 м³ в год на одного жителя, что рассматривается как катастрофически низкая водообеспеченность. Таким образом, для повышения в перспективе водообеспеченности недостаточно только снижать объемы водопотребления, необходимо искать возможности одновременного увеличения располагаемых водных ресурсов.

Имеются два пути или две группы мероприятий для снижения нагрузки на водные ресурсы и устранения дефицита пресной воды в мире, стабилизации и даже увеличения водообеспеченности.

Первая группа предполагает увеличение располагаемых для использования водных ресурсов в регионе за счет:

- многолетнего и сезонного регулирования речного стока;
- использования вековых запасов пресных вод;
- искусственного увеличения осадков:

— территориального перераспределения водных ресурсов.

Вторая группа предусматривает уменьшение темпов развития основных водопотребителей и использование более современных технологий для сокращения потребления пресной воды в промышленности, орошении, коммунальном хозяйстве.

Ниже дается краткий анализ этих мероприятий.

Регулирование речного стока

Во многих районах мира трудности водоснабжения возникают не из-за недостаточности водных ресурсов, а ввиду крайне неравномерного распределения речного стока внутри года и за многолетний период, что обуславливает дефицит воды во время наступления маловодных, засушливых сезонов или лет. Для наиболее полного использования местных водных ресурсов, начиная с 1940–1950-х гг. практикуется строительство водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования. К настоящему времени суммарный полезный объем водохранилищ в мире составляет примерно 4000 км³, что увеличило в среднем объем устойчивого речного стока на 25%. Некоторые регионы и страны мира имеют достаточно высокую степень регулирования возобновляемых водных ресурсов (табл. 12.9 и 12.10) и они, естественно, имеют значительно меньшие трудности водообеспечения в маловодные сезоны и даже годы. Однако процессы регулирования стока рек имеют существенные ограничения, связанные с хорошо известными серьезными негативными последствиями строительства и эксплуатации водохранилищ. Это обусловило резкое снижение темпов их сооружения уже в последние два десятилетия. Они, по-видимому, будут уменьшаться и в перспективе.

Немаловажным обстоятельством является и то, что строительство водохранилищ в зонах недостаточного увлажнения приводит к заметному уменьшению водных ресурсов регионов за счет дополнительных потерь воды на испарение, а также к значительному затоплению плодородных пойменных земель. Уже в настоящее время (см.: разд. 12.4.4) потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ мира превышают суммарное безвозвратное водопотребление населением, промышленностью и теплоэнергетикой. Поэтому в последние годы для сокращения потерь воды на испарение и предотвращения больших затоплений плодородных земель водохранилища предпочитают сооружать в горных и слабоосвоенных районах мира.

Использование вековых запасов пресных вод

При решении проблем перспективного водообеспечения специалисты все чаще обращают внимание на огромные вековые запасы пресных вод, накопленные на Земле в озерных котловинах, в виде ледников и линз глубоко залегающих подземных вод. Использование в больших масштабах вековых запасов воды в озерах малоперспективно, поскольку воды в пресных озерах немного (примерно $91\,000\text{ км}^3$) и распределены они крайне неравномерно и, в основном, не там, где есть дефицит пресной воды. Кроме того, использование вековых запасов воды в озерах неизбежно приведет к крайне неблагоприятным экологическим последствиям в результате снижения их уровня и угрозы ухудшения качества воды.

Для перспективного водообеспечения континентальных районов мира, испытывающих дефицит водных ресурсов, имеются заманчивые идеи частичного использования пресных вод, заключенных в горных ледниках, главным образом, путем искусственной интенсификации процессов таяния и увеличения таким образом стока рек, имеющих ледниковое питание. По данным (Корзун, (ред.), 1974), в ледниках горных районов мира сосредоточено значительное количество хорошей пресной воды (примерно $40\,600\text{ км}^3$), причем большая часть этой воды находится в бассейнах рек, сток которых особенно интенсивно используется на нужды орошаемого земледелия. Усиление таяния ледников предполагается путем искусственного зачернения поверхности снега и льда в горах.

Опыты по усилению таяния ледников и снежников проводились еще в 1970—1980-е гг. в бывшем СССР, США, Китае, Чили и в других странах. В работах (Кренке, 1980; Котляков, 1981) обобщены результаты этих экспериментов для ряда крупных ледниковых районов. В частности, для Средней Азии были оценены потенциальные и реально возможные объемы дополнительной воды, которые можно получить при усилении таяния ледников.

Выводы указанных работ никак нельзя назвать многообещающими. Оказалось, что если зачернить все горные ледники Средней Азии и юго-восточного Казахстана, в которых находится около 1000 км^3 воды, то суммарный объем дополнительной годового стока рек составит всего $6,5\text{ км}^3$, в то время как общее современное безвозвратное водопотребление в районах, где используются водные ресурсы указанных горных рек, достигает $80\text{ км}^3/\text{год}$. При этом

очевидна техническая нереальность сплошного зачернения всех ледников, и даже получение $1\text{--}2\text{ км}^3$ дополнительной воды, составляющей всего около 1% естественного годового стока рек, представляется малореальным, так как потребуются заплытие примерно $2000\text{--}3500\text{ км}^2$ ледников.

Видимо, для других горных районов картина будет аналогичной, т. е. вполне реально, что дополнительные водные ресурсы за счет интенсификации таяния всех горных ледников мира не превысят $20\text{--}40\text{ км}^3/\text{год}$, что никак не решает проблем не только глобального, но и регионального водообеспечения, тем более, что по данным (IPCC, 2007) в последние два десятилетия в различных регионах мира наблюдается тенденция интенсивного таяния горных ледников, обусловленная процессами глобального потепления климата. Помимо технических сложностей, использование горных ледников как дополнительного источника пресной воды, может привести к разрушению горных экосистем. Даже предварительные оценки указывают на возможность крайне нежелательных экологических последствий при осуществлении указанных мероприятий.

Более продуктивно использование для водообеспечения в аридных и семиаридных районах глубоко залегающих невозобновляемых ресурсов подземных вод. К примеру, в течение десятилетий такие воды широко используются в арабских странах Аравийского полуострова и Северной Африки, в Индии и ряде других стран, и имеют очень большое значение для водообеспечения населения и сельского хозяйства отдельных городов, районов и даже стран. Однако уже к настоящему времени во многих аридных регионах разведанные и удобно расположенные невозобновляемые запасы подземных вод близки к истощению (FTGWR, 1997; Gleik, 1998; UNESCO, 1995), и вряд ли эти источники имеют большие перспективы в будущем для водообеспечения орошения и промышленности в глобальном масштабе.

Опреснение соленых и солоноватых вод

При оценке возможных в перспективе способов устранения дефицита водных ресурсов большие надежды часто возлагают на использование после опреснения соленых и солоноватых озерных, подземных, дренажных и особенно морских вод, запасы которых на Земном шаре практически не ограничены. Массовое строительство опреснительных установок началось с 1960-х гг. Если в 1960 г. сум-

марная мощность всех опреснительных установок в мире составила 0,08–0,09 км³/год, то в 1970 г. — 0,45 км³/год, в 1977 г. в мире действовало и строилось более 1500 опреснителей с производительностью 1,4 км³/год пресной воды (Шикломанов, Маркова, 1987).

По данным (Gleik, 1996) в 1980 г. в мире производилось 1,46 км³, а в 1996 — 6,5 км³ опресненной воды в год. Следует отметить, что в 1960-е, а затем в 1980-е гг. предполагался более интенсивный рост опреснения в мире. Например, в 1960-е гг. прогнозировалось, что объем 50 км³/год будет достигнут уже к 1990 г., а в 1980-е гг. предполагалось, что к 2000 г. объем опреснения составит 35–55 км³/год (Авакян и др., 1983; Шикломанов, Маркова, 1987). В настоящее время очевидно, что в 2000 г. суммарный объем опресненных вод в мире был всего около 7 км³, а объем в 50 км³/год, по-видимому, вряд ли достигим и к 2020 г. Более широкое использование опреснения сдерживается, главным образом, высокой стоимостью получаемой пресной воды и большими затратами электроэнергии и топлива. Стоимость 1 м³ воды на крупнейших опреснительных установках оценивается от 0,6 до 1,8 доллара (от 600 до 1800 млн долларов за 1 км³) в зависимости от способа опреснения и минерализации опресняемой воды. Высокой стоимостью опреснения объясняется тот факт, что более половины всех современных мощностей опреснения находятся в арабских регионах Персидского залива и Среднего Востока, где очень большой дефицит воды, но имеются огромные запасы нефти и практически неограниченные финансовые ресурсы (Gleik, 1998).

Важно отметить, что для многих районов мира с дефицитом водных ресурсов, особенно прилегающих к внутренним водоемам и относящихся к бессточным бассейнам, опреснение соленых морских вод даже в отдаленной перспективе вряд ли может быть основой водообеспечения орошения и не только из экономических соображений, но и по той причине, что забор морских вод в больших объемах невозможен из-за неизбежного в этом случае изменения гидрологического режима внутренних водоемов. В связи с этим в аридных зонах, а также в районах интенсивного орошения с ограниченными водными ресурсами, в качестве наиболее перспективных рассматриваются проблемы опреснения не морских соленых вод, а относительно слабоминерализованных подземных и дренажных вод, поступающих с орошаемых полей и массивов. Для этого имеется вполне достаточно оснований. Во-первых,

опреснение солоноватых вод требует значительно меньших материальных затрат, чем соленых, во-вторых, в районах традиционного орошения слабоминерализованных дренажных вод обычно всегда достаточно (Шикломанов, Маркова, 1987).

Следует отметить, что опреснение воды в больших масштабах выдвигает сложную проблему утилизации и переработки соли, от которой во многом зависит себестоимость опресненной воды и воздействие опреснения на окружающую среду. Очень большое значение имеет и решение медико-биологических проблем, связанных с опреснением и массовым использованием опресненной воды для хозяйственно-питьевых нужд.

Исходя из изложенного, очевидно, что опреснение не может рассматриваться, как возможное решение проблем перспективного водообеспечения в большинстве стран и регионов мира, даже если имеются вполне достаточные финансовые возможности.

Искусственное увеличение осадков

Крупномасштабные эксперименты по искусственному увеличению осадков на больших площадях проводились во многих странах, особенно в США, Канаде, Австралии и были очень популярны в 1960–1970-е гг. Краткий обзор полученных результатов, приведенный в работе (Шикломанов, Маркова, 1987), показывает, что объемы возможного увеличения водных ресурсов на больших площадях за счет стимулирования выпадения осадков в общем невелики и реально находятся в пределах 5%. При этом могут возникнуть определенные экологические, а также юридические и политические проблемы активных воздействий на облака, обусловленные возможными влияниями на климат соседних регионов и стран.

Заметим также, что если в результате активных воздействий на облака появится возможность получить дополнительные осадки и даже дополнительный речной сток, то реализовать этот эффект можно только при наличии развитой системы регулирования стока во времени и по территории бассейна. Это связано с тем, что основное количество дополнительных осадков получается в периоды выпадения естественных осадков, а не тогда, когда это особенно нужно для хозяйственной деятельности.

Все вышеизложенное, по-видимому, и является причиной того, что в 1980–1990-е гг. резко умень-

шилось количество крупномасштабных экспериментов по искусственному увеличению осадков, и эти мероприятия в настоящее время специалистами по водному хозяйству практически не рассматриваются как возможные источники пополнения водных ресурсов для решения проблем водообеспечения в глобальном масштабе.

Территориальное перераспределение водных ресурсов

Территориальное перераспределение речного стока, давно используемое человеком, получило в последние десятилетия широкое распространение в мире. Мероприятия по переброскам части стока рек из одних районов в другие обоснованы существующей реальностью формирования водных ресурсов, их распределением по территории, характером использования. Во-первых, ресурсов речного стока на Земле в целом вполне достаточно для удовлетворения нужд водопотребления на многие десятки и сотни лет. Во-вторых, ресурсы пресных вод на Земле распределены крайне неравномерно; на каждом континенте есть районы, избыточные по водным ресурсам, и районы, где их всегда не хватает. В-третьих, хозяйственная деятельность человека способствует усилению естественной неравномерности распределения водных ресурсов по территории, т. е. там, где водные ресурсы в избытке, они используются меньше и сток рек здесь практически не уменьшается, а в районах с недостатком водных ресурсов вследствие действия антропогенных факторов водный дефицит с каждым годом становится все более осязаемым. Таким образом, очевидно стремление человека разрабатывать и осуществлять мероприятия по забору воды из тех районов, где она в избытке, и передаче ее в районы, где в ней особенно нуждаются.

К 1985 г. суммарный объем перебросок стока в мире составлял по данным (Шикломанов, Маркова, 1987) примерно 370 км^3 в год, в том числе 140 км^3 — в Канаде, 60 км^3 — в бывшем СССР, 50 км^3 — в Индии, 30 км^3 — в США. При этом максимальный объем перебросок составлял 50 км^3 в год (в северных районах Канады), а наибольшая длина трассы перебрасываемого стока составляла 1100 км (Каракумский канал, Узбекистан — Туркменистан).

В 1970—1980-е гг. в разных странах мира было разработано много проектов территориального перераспределения водных ресурсов, но большинст-

во их не было реализовано из-за недостаточного экологического обоснования, отсутствия финансовых и технических ресурсов, а главное, крайне негативного в то время отношения широкой общественности ко всем крупномасштабным водохозяйственным проектам. Последнее было сформировано средствами массовой информации под влиянием псевдозащитников природы и влиятельных, но недостаточно компетентных, а часто просто недобросовестных ученых и политиков. По этим причинам, например, в 1985 г. в бывшем СССР вообще были остановлены все проектные и научные работы по этой проблеме.

Тем не менее в настоящее время суммарный объем всех видов крупномасштабных перебросок стока составляет по экспертной оценке автора примерно $500 \text{ км}^3/\text{год}$. Это уже вполне значимая величина по сравнению с объемом глобального водопотребления. В самые последние годы отношение к переброскам меняется: начаты работы по реализации крупномасштабных перебросок стока в Китае, в России серьезно ставятся вопросы по возобновлению работ и обоснованию перебросок части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря, осуществляются проекты в других странах.

В перспективе по мере роста потребностей в воде, технических и экономических возможностей, масштабы мероприятий по территориальному перераспределению водных ресурсов в мире, несомненно, будут увеличиваться. Стоимость мероприятий по переброскам стока зависит от многих факторов и по обобщенным данным, приведенным в работе (Шикломанов, Маркова, 1987), колеблется в пределах от 100 до 800 млн долларов на 1 км^3 перебрасываемого стока.

К специфическому виду территориального перераспределения водных ресурсов могут быть отнесены и такие экзотические предложения, как транспортировка айсбергов Антарктиды в прибрежные аридные районы мира, испытывающие наиболее острый дефицит чистой пресной воды. По оценкам специалистов, стоимость пресной воды, получаемой из айсбергов Антарктиды, может изменяться в довольно больших пределах, составляя в основном (с учетом доставки ее от тающего айсберга на сушу) примерно 500—700 млн долларов за 1 км^3 , хотя в отдельных, исключительно благоприятных, ситуациях она может быть и на порядок меньше.

Использование в больших масштабах айсбергов, как источника пресной воды, связано с целым рядом трудностей и ограничений. Прежде всего оно

наиболее выгодно для водообеспечения прибрежных районов, подача воды в континентальные районы потребует дополнительно очень больших затрат. Однако далеко не все прибрежные районы легкодоступны для прибукировки к ним крупных айсбергов, имеющих очень большую осадку. Исследования показали, что во многих предполагаемых местах доставки (кроме Северной и Южной Америки) нельзя подвести айсберг к берегу ближе, чем на 20–40 км. В связи с этим возникают проблемы раскалывания льда на мелкие части и подача ледяной пульпы на берег. При широком использовании айсбергов возникнут проблемы не только экономического и технического, но и политического и экологического характера. (Goldman, 1978; Chamoux, 1978).

Ко второй группе мероприятий по устранению дефицита водных ресурсов прежде всего относится широкое внедрение передовых современных технологий по более экономному использованию пресной воды. Для сокращения современного удельного водопотребления имеются большие возможности во всех районах мира и во всех сферах использования пресных вод. В теплоэнергетике и промышленности — это переход на оборотное водоснабжение, а в отдельных отраслях на «сухое» производство, что позволит значительно уменьшить объемы заборов свежей воды и сбросы загрязненных сточных вод в реки и водоемы, а эффективная очистка промышленных стоков даст возможность сохранить большие запасы пресных вод, которые в настоящее время необходимы для разбавления неочищенных стоков.

О больших возможностях и эффективности (с точки зрения экономии водных ресурсов) принимаемых мер по сокращению удельного водопотребления в промышленности и теплоэнергетике свидетельствует опыт высокоразвитых индустриальных стран, где в период с 1970-х гг., несмотря на существенный рост промышленного производства, промышленное водопотребление заметно уменьшилось. В то же время широкое использование мероприятий по оборотному водоснабжению в промышленности и по очистке промышленных сточных вод ограничивается их высокой стоимостью. Например, по данным работы (Левин, 1973), на оборотное водоснабжение требуется затрат примерно в 1,5–3 раза больше, чем на прямоточное, а на очистку сточных вод затраты могут быть в 3–8 раз больше, чем на подачу свежей воды. Например, затраты на очистку 1 м³ промышленных сточных вод составляют

(в основном, в зависимости от веществ, содержащихся в стоках) от 0,2 до 1,5 долларов (от 200 до 1500 млн долларов на 1 км³ загрязненной воды).

В аридных районах особенно большое значение имеет экономия воды в орошаемой земледелии, которое является главным потребителем воды на Земном шаре. В некоторых районах мира удельное водопотребление на орошении достигает очень больших значений, когда безвозвратно расходуется 20–50 тыс. м³ воды на 1 га орошаемых земель или в 3–7 раз больше, чем необходимо растениям. Это обусловлено большими потерями воды в каналах — низким коэффициентом полезного действия оросительных систем, составляющих во многих районах 0,4–0,5, завышенными поливными и оросительными нормами, несовершенством техники и технологии орошения. Например, по данным работы (Desroix, 1983) переход от самотечного орошения к дождеванию позволяет вдвое экономить воду, а применение систем капельного и мелкодисперсного орошения дает возможность достичь максимальной экономии воды при значительном повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Специалистам хорошо известны преимущества указанных способов орошения, тем не менее они пока еще не нашли широкого использования в мире.

Применение прогрессивных способов орошения, включая дождевание, капельное и мелкодисперсное орошение, требует наличия сложных и дорогостоящих технических средств и высокой культуры орошаемого земледелия. Все это приводит к тому, что даже орошение дождеванием применяется весьма ограниченно, особенно в развивающихся странах. В настоящее время дождевание применяется не более чем на 10–12% всех орошаемых площадей мира. Что касается систем капельного и мелкодисперсного орошения, то стоимость их в 3–5 раз больше систем дождевания; в настоящее время эти способы орошения применяются в мире на площадях, составляющих всего 0,7% всех орошаемых земель (Postel, 1992). Естественно, что в перспективе прогрессивные методы полива будут все больше применяться в мире, но это во многом будет зависеть от финансовых возможностей стран, поскольку для этого требуются очень большие капиталовложения.

Помимо совершенствования техники полива, большое значение для экономии водных ресурсов в районах традиционного орошаемого земледелия имеют мероприятия по реконструкции существую-

щих оросительных систем, повышению коэффициента полезного действия магистральных и оросительных каналов, главным образом, за счет устранения фильтрации из них и сокращения непродуктивного испарения. В ряде орошаемых районов мира имеются возможности значительного увеличения водных ресурсов за счет реконструкции оросительных систем.

Так, исследования, выполненные российскими учеными еще в 1970–1980-е гг. (Воропаев, 1979; Колодин, 1980) показали, что если провести коренную реконструкцию старых оросительных систем и совершенствование способов полива в Средней Азии на территории бывшего СССР, то это позволит дать экономию воды около $20 \text{ км}^3/\text{год}$. Однако для этого необходимы огромные материальные затраты: экономия 1 км^3 воды потребует финансовых затрат в объеме 700–900 млн долларов.

Рассмотренные выше основные современные и возможные в ближайшей перспективе способы получения дополнительных водных ресурсов и экономии пресной воды весьма разнообразны и специфичны. Общим для них является потребность в больших материальных затратах, различия также очевидны. Мероприятия первой группы всегда имеют те или иные значительные отрицательные воздействия на окружающую среду. Мероприятия второй группы (экономное использование воды, очистка промышленных стоков, реконструкция оросительных систем и др.) практически всегда желательны, необходимы и полезны в экологическом аспекте. В табл. 12.31 приведены заимствованные и обобщенные из самых различных публикаций приближенные данные по удельным капитальным затратам на 1 км^3 дополнительных или сэкономленных водных ресурсов. Затраты очень широко изменяются для различных периодов времени и регионов, поэтому приведенные данные следует рассматривать как сугубо ориентировочные.

Наиболее дешевые способы получения дополнительных водных ресурсов для того или иного региона — регулирование стока водохранилищами и стимулирование таяния ледников горных районов. Регулирование стока практикуется в мире очень широко, но оно лишь позволяет более полно использовать имеющийся местный речной сток, не увеличивая, а уменьшая за счет дополнительного испарения суммарные водные ресурсы региона. При этом возможности регулирования во многих регионах уже исчерпаны или будут исчерпаны в ближайшей перспективе. Что касается использо-

вания горных ледников, то возможности этих мероприятий очень ограничены, как в отношении объемов получаемых дополнительных водных ресурсов, так и территорий, где они осуществимы; очень велики и трудно предсказуемы экологические последствия указанных мероприятий.

Таблица 12.31

Капитальные затраты для получения дополнительных водных ресурсов или экономии 1 км^3 пресной воды

Мероприятия	Капитальные затраты, млн долларов на 1 км^3 воды
Регулирование речного стока водохранилищами	50–80
Использование ледников горных районов	50–100
Опреснение соленых и солоноватых вод	600–1800
Территориальное перераспределение речного стока	100–800
Использование антарктических айсбергов	500–700
Современные технологии в промышленности и очистка промстоков	200–1000
Реконструкция оросительных систем и технологии полива	700–900

Все другие способы получения дополнительных водных ресурсов и экономии пресной воды, в общем, сравнимы по стоимости и возможным масштабам широкого использования в перспективе для решения проблем водообеспечения. Все они, безусловно, рано или поздно найдут широкое применение в тех районах мира, где окажутся наиболее целесообразными и экономически выгодными по физико-географическим условиям и характеру использования воды.

Среди мероприятий первой группы территориальное перераспределение водных ресурсов имеет очевидные преимущества: оно имеет всеобщее распространение, является характерным для всех физико-географических зон, регионов и континентов Земли, объем перебрасываемого стока в мире в настоящее время на два порядка больше суммарного объема опреснения, и он продолжает расти. В сочетании с широким применением современных технологий в водопотреблении и очистке сточных вод, территориальное перераспределение водных ресурсов в перспективе может стать реальной основой не только для уменьшения нагрузки на водные ресурсы, но и стабилизации удельной водообеспеченности во многих регионах и странах мира.

Как показано выше, наиболее острые проблемы с водообеспечением предстоит решать развиваю-

шимся странам, для которых характерны интенсивный прирост численности населения и низкие доходы, определяющие и соответствующий уровень социально-экономического развития. При этом большинство развивающихся стран расположены в зонах недостаточного увлажнения, где и в естественных условиях возобновляемые водные ресурсы невелики, имеют большую изменчивость во времени и к тому же очень чувствительны даже к незначительным антропогенным изменениям глобального климата.

Разрабатывая перспективы и планы развития экономики в развивающихся странах, следует рассматривать обе группы мероприятий по улучшению состояния водообеспечения, а именно: изыскание дополнительных источников водных ресурсов и всемерная экономия потребления пресной воды за счет внедрения наиболее эффективных современных технологий. При этом, исходя из физико-географических условий, технических и финансовых возможностей, состояния окружающей среды, национальных интересов, приоритетными должны быть те мероприятия, которые могут дать наибольший эффект при наименьших затратах.

Следует отметить, что изыскание дополнительных водных ресурсов является важнейшим аспектом при разработке перспективных планов, поскольку в условиях быстро растущего в том или ином регионе населения есть только два пути стабилизации или даже увеличения удельной водообеспеченности:

— стабилизация численности населения, что в большинстве случаев невозможно по этическим, национальным и политическим соображениям;

— изыскание дополнительных источников водных ресурсов в регионе (стране) или привлечение воды из соседних регионов, естественно, на основе взаимовыгодных соглашений и всестороннего учета возможных экологических последствий.

Внедрение эффективных мероприятий по экономии водопотребления также крайне необходимо, поскольку это будет способствовать уменьшению нагрузки на водные ресурсы, однако они не решают проблему стабилизации удельной водообеспеченности. К сожалению, это часто не принимается во внимание при разработке перспективных планов устойчивого развития водных ресурсов.

Литература

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шаранов В. А. Водохранилища. — М.: Мысль, 1987. — 320 с.
- Бабкин В. И., Гусев О. А., Новикова В. А. Методика осреднения и интерполяции гидрометеорологических характеристик // Труды ГГИ. — 1977. — Вып. 217. — С. 175–186.
- Бабкин В. И., Будыко М. И., Соколов А. А. Водные ресурсы и водообеспеченность СССР в настоящем и будущем // Генеральные доклады V Всесоюзного Гидрологического съезда. — 1986. — С. 84–118.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А. Антропогенные изменения климата. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — 406 с.
- Воейков А. И. Избранные сочинения // Под ред. акад. А.А. Григорьева — М.; Л.: Изд. АН СССР, 1949. — 228 с.
- Воейков А. И. Климаты земного шара и в особенности России. — СПб., 1884.
- Воропаев Г. В. Гидрологические и технические аспекты территориального перераспределения водных ресурсов в СССР // Проблемы освоения пустынь. — 1979. — № 3. — С. 3–9.
- ГВК. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодное издание). — Л.; СПб., 1982–2005.
- Георгиевский В. Ю., Шальгин А. Л., Догановская Т. М. Современная и перспективная динамика потребности сельхозкультур в орошении в связи с глобальным изменением климата // Метеорология и гидрология. — 1993. — № 12. — С. 81–86.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шальгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек бывшего СССР // Метеорология и гидрология. — 1996. — № 1. — С. 89–99.
- Дроздов О. А., Сорочан О. Г., Шикломанов И. А. Предварительная оценка возможных изменений глобального влагооборота под влиянием хозяйственной деятельности // Водные ресурсы. — 1976. — № 6.
- Зекцер И. С. Приток подземных вод в океаны. Статья, представленная в энциклопедию. — 2001. — 10 с.
- Калинин Г. П. Проблемы гидрологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 377 с.
- Калинин Г. П., Шикломанов И. А. Использование водных ресурсов Земли // Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — С. 575–606.
- Колодин М. В. Перспективы опреснения для водоснабжения и охраны водной среды // Проблемы освоения пустынь. — 1980. — № 3. — С. 10–19.
- Корзун В. И. (ред.) Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / Под ред. В. И. Корзуна — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 638 с.

- Котляков В. М.* Использование ледников как источников пресной воды // Проблемы развития народного хозяйства СССР. — М., 1981. — С. 27–43.
- Кренке А. Н.* Ледниковый сток в реки Средней Азии и возможности его регулирования // Водные ресурсы. — 1980. — № 3. — С. 5–20.
- Левин А. П.* Водный фактор в размещении промышленного производства. — М.: Стройиздат, 1973. — 165 с.
- Львович М. И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974. — 448 с.
- Чуб В. Е.* Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал республики Узбекистан. — Ташкент.: САНИГМИ, 2000. — 253 с.
- Чуб В. Е.* Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и подные ресурсы республики Узбекистан. — Ташкент, 2007. — 132 с.
- Шикломанов А. И.* Влияние антропогенных изменений глобального климата на сток р. Енисей // Метеорология и гидрология. — 1994. — № 2. — С. 84–93.
- Шикломанов И. А., Линз Г.* Влияние изменений климата на гидрологию и водное хозяйство // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 4.
- Шикломанов И. А.* Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 300 с.
- Шикломанов И. А.* Исследование водных ресурсов суши; итоги, проблемы, перспективы. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 170 с.
- Шикломанов И. А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 334 с.
- Шикломанов И. А., Бабкин В. И.* Изменения климата и водное хозяйство // Метеорология и гидрология. 1992. — № 4. — С. 38–44.
- Шикломанов И. И., Балонишникова Ж. А., Пенькова Н. В.* Водопотребление в мире: современные тенденции и сценарии развития в будущем // Докл. VI Всерос. гидрологич. съезда. — Секция 3. — М.: Метеоагентство Росгидромета, 2008.
- Шикломанов И. А., Балонишникова Ж. А., Георгиевский В. Ю.* Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы и социально-экономические последствия, проблемы адаптации и снижения негативных последствий // Метеоспектр. Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения. — 2007. — № 2. — С. 46–69.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата. Тезисы докл. VI Всерос. гидрологического съезда, СПб., 28 сент. — 01 октября 2004 г. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — Секция 3. — С. 200–201.
- Шикломанов И. А., Маркова О. Л.* Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 294 с.
- Шикломанов И. А., Шикломанов А. И.* Изменение климата и приток речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. — 2003.
- ALECSO. Proceedings of the First Meeting of the IHP Arab Permanent Committee. Cairo, 1992.
- Ambroggi R. P.* Water // Scientific American. — 1980. — 243 (3). — P. 91–104.
- Andresian V. P.* Forecasting Water Requirements for the Beginning of the 21st Century: A World-Scale Study. — Paris, UNESCO, 1994.
- Arnell N. W.* The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: A continental perspective. Global Environ. — Change, 1999a. — N 9. — P. 5–23.
- Arnell N. W.* Climate change and global water resources. Global Environ. — Change, 1999b. — N 9. — P. 31–49.
- Arnell N.* The potential effect of climatic change on water resources management in the UK // Climatic Fluctuations and Water Management. — Butterworths, 1992. — P. 107–117.
- Aston A. R.* The effect of doubling atmospheric carbon dioxide on streamflow: a simulation // J. Hydrol. — 1987. — N 67.
- Barney G. O.* (ed.). The Global 2000 Report to the President of the US: Entering the Twenty-First Century. — Washington, DS, US Government Printing Office, 1980. — Vol. 1–3.
- Baumgartner A., Reichel E.* The World Water Balance. — Munchen\$ Wien, R. Oldenburg Verlag, 1975.
- Bergstrom S., Carlsson B.* Hydrology of the Baltic Basin // SMHI Reports Hydrology. — 1993. — N 7. — April. — 21 p.
- Boland J. J.* Assessing urban water use and the role of water conservation measures under climate uncertainty // J. Climate Change and Water Resources Planning Criteria / Eds. K. D. Frederic, D. C. Major, E. Z. Stakhiv. — Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Brazdil R.* Fluctuation of atmospheric precipitation in Europe // Geo. Journal. — 1992. — N 27. — P. 275–291.
- Budyko M. I.* et al. (eds). Prospects for Future Climate — A Special US/USSR Report on Climate and Climate Change. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. — 272 p. (in Russian).
- Chang L. H.* et al. Recent research on effects of climate change on water resources // Water Res. Bul., AWRA, 1992. — Paper N 91089. — Vol. 28. — N 2. — P. 273–286.
- Dahlsrom B.* Short-term fluctuation of temperature and precipitation in Western Europe // Climate Variations in Europe R. Heino (ed.). — Academy of Finland, Publication 3/94. — 1994. — P. 30–38.
- De Mare L.* An assessment of the world water situation by 2000 // Water International. — 1977. — N 2 (9). — P. 31–46.
- Decroix M.* L'irrigation aux USA — les deficits des annees 80. Etud. CEMG Ref. — 1983. — N 503. — 61 p.

- Doxiadis S. A.* Water for the human environment // Proc. Int. Conf. «Water for Peace» (Washington, 23–31 May 1967), 1967. — Vol. 1. — P. 33–60.
- Easterling W. E.* et al. A Farm Level Simulation on the Effects of Climate Change on Crop Productivity in the MINK Region. — Department of Energy Working. — 1991. — P. 11–13.
- EEA. Sustainable Water Use in Europe, Part I, Sectoral Use of Water. — Copenhagen: European Environment Agency, 1999.
- ETC/IW. The Reporting Directive: Report on the returns for 1993 to 1995, ETC/IW Report to DGXI. — 1998. — PO. — 28/97/1.
- Falkenmark M., Lindth G.* How can we cope with the water resources situation by the year 2015? // AMBIO. — 1974. — N 3 (3–4). — P. 114–121.
- FAO: Irrigation in Africa in Figures. Water Report. — 1995. — N 7. — Rome, FAO.
- FAO: Water Resources of the Near East Region: A Review. — Rome, FAO, 1997.
- FAO. Irrigation in Asia in Figures. Rome, FAO, 1999. — 228 p.
- FAO. Irrigation in Latin America and the Caribbean in Figures. — Rome, FAO. — 2000. — 345 p.
- Findlay B. F.* et al. Canadian national and regional standardized annual precipitation departures // Trends'93: A Compendium of Data on Global Change, T. A. Boden, D. P. Kaiser, R. J. Sepanski and F. W. Stoss (eds.), ORNL/CDIAS-65, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge. — USA, 1994. — P. 800–828.
- Frederick K. D.* Processes of Identifying Regional Influences of and Responses to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide and Climate Change. The MINK Project Report IV — Water Resources, Office of Energy Research, US Department of Energy. — Washington: DC. — 1991.
- Frederick K. D., Major D. S.* Climate Change and Water Resources // Climate Change and Water Resources Planning Criteria. K. D. Frederic, D. C. Major, E. Z. Stakhiv (eds.), Kluwer Academic Publishers, 1997. — P. 7–23.
- Frederick K. D.* et al. Estimating the Effects of Climate Change and Carbon Dioxide of Water Supplies in the Missouri River Basin. Discussion Paper. ENR 93–18. Resources for the Future. — Washington: DC, 1993.
- Georgievsky V. Yu., Zhuravin S. A., Ezhov A. V.* Assessment of Trends in Hydrometeorological Situation on the Great Russian Plain under the Effect of Climate Variations. Proceedings of American Geophysical Union, 15th Annual Hydrology Day, 1995. — P. 47–58.
- Gleick P. H.* (ed.) Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. — New York: Oxford University Press, 1993.
- Gleick P. H.* Minimum water requirements for human activities: meeting basic needs. Water International. — 1996. — N 21. — P. 83–92.
- Gleick P. H.* The World's Water 1998–1999: The Biannual Report on Fresh Water Resources. Washington, DC, Island Press, 1998.
- Groisman P. Y., Easterling D. R.* Variability and trends of precipitation and snowfall over the United States and Canada // J. Climate. — 1994. — N 7. — P. 184–205.
- Groisman* et al. Overcoming biases of precipitation measurement. A history of the USSR experience // Bull. Am. Met. Soc. — 1991. — N 72. — P. 1725–1733.
- Henrics T.* et al. An Integrated Analysis of Changes in Water Stress in Europe // Integrated Assessment. — 2002. — Vol. 3 (1). — March, SWETS and ZEITLINGER. — P. 15–29.
- Herrington P.* Climate Change and the Demand for Water, Department of the Environment, HMSO. — London, 1996.
- Holy M.* Water and Environment. — Rome, FAO, 1971.
- Hughes T.* et al. Impacts of Projected Climate Change on Urban Water Use: An Application Using the Wasatch Front Water Demand and Supply Model, US Bureau of Reclamation, Global Climate Change Response Program, Denver, CO, 1994.
- Idso S., Brasel A.* Rising atmospheric carbon dioxide concentrations may increase streamflow // Nature. — 1984. — Vol. 312.
- IMF. International Financial Statistics: Yearbook 1994. — Washington: DC, International Monetary Fund, 1994.
- IPCC: Climate Change 1995: The Science of Climate Change / (Eds.) J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. — Contribution of Working Group I to the 2nd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge: UK, Cambridge University Press, 1995.
- IPCC: Climate Change: The scientific Basis / Eds. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Nougier, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson. Contribution of Working Group I to the 3rd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge: UK, Cambridge University Press, 2001.
- IPCC. Fourth Assessment Report. Working Group I. Climate Change. The Physical Science Basis. Presented on IPCC Conference in Paris 02 February, 2007. — Paris, 2007.
- IWSA Congress. Madrid, Spain, International statistics for Water Supply. Madrid, 1997.
- Kaczmarek Z., Napiorkowski J.* Water resources adaptation strategy in an uncertain environment. In: Adapting to Climate Change: An International Perspective, Springer. — New York, 1996. — P. 211–224.
- Karl T. R.* et al. Recent variations of snow cover and snowfall in North America and their relation to precipitation and temperature variations // J. Climate. — 1993. — P. 1327–1344.

- Krasovskaya I.* Quantification of stability of river flow regimes // *Hydrological Sciences*. — IAHS. — 1995. — Vol. 40. — N 5. — P. 587–597.
- Kulshreshtha S. N.* *World Water Resources and Regional Vulnerability: Impact of Future Changes*. Luxembourg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1992.
- Lammers R. B.*, et al. Assessment of Contemporary Arctic River Runoff Based on Observation Discharge Records // *JGR — Atmospheres* 106 (D4) 3321. 2001.
- Lanfear K. J.*, *Hirsch R. M.* USGS study reveals a decline in long-record stream gages. *Eos, Trans. AGU.*, 1999: 80. 605–607. — P. 13. — P. 16–17.
- Lettenmaier D.* et al. Hydroclimatological trends in the Continental United States, 1948–1988 // *J. Climate*. — 1994. — N 7. — P. 586–607.
- Lins H. F.*, *Michaels P. J.* Increasing streamflow in the United States // *EOS*. — 1994. — N 75. — P. 281–286.
- Marengo J.* Variations and change in South America streamflow // *Clim. Change*. — 1995. — 31. — P. 99–117.
- Margat J.*, *Vallee D.* *Water for the 21st Century: Vision to Action — Mediterranean Vision on Water, Population and Environment*. — Monaco: JS Communication, 2000.
- Marqat J.* *Water Use in the World: Present and Future*. Contribution au Project M-1–3 du Programme Hydrologique International. — Paris: PHI–IV/UNESCO, 1994.
- Margat J.* Prospective des penuries d'eau au Maghreb. *Coll. Int. Eau: Gestion de la Rarete*. — Rabat, Morocco, 1995. — Vol. 10.
- McCabe G. L.*, *Wolock D. M.* Sensitivity of irrigation demand in a humid-temperature region to hypothetical climate change // *Water Resources Bulletin*. — 1992. — N 28. 3. — P. 535–543.
- Mahmoud Abu-Zeid*, *Shiklomanov I. A.* *Water Resources as a Challenge of the Twenty-First Century*. Tenth IMO Lecture. — WMO, 2004. — N 959. — 146 p.
- Miller J. R.*, *Russell G. L.* The impact of global warming on river runoff // *J. Geophys. Rec.* — 1992. — N 97 (D3). — P. 2757–2765.
- Mosley M. P.* *Climate Change: impacts on water resources // Climate Change — the New Zealand Response*. — 1991. — P. 70–81.
- Nophadol I.*, *Hemantha E. L.* Impact Assessment of Global Warming on Rainfall-Runoff characteristics in a Tropical Region (Sri-Lanka) // *R. Herrmann (2d.) AWRA Symposium Managing Water Resources During Global Change*. — 1992. — P. 547–556.
- Parry M. L.* et al. *The Potential Socio-Economic Effects of Climate Change in South-East Asia*, 1991. — 123 p.
- Peterson D.*, *Keller A.* *Irrigation // Waggoner (ed.) Climate Change and US Water Resources*, John Wiley & Sons. — New York, 1990. — P. 269–307.
- Peterson B. J.* et al. Increasing river discharge to the Arctic Ocean // *Science*. — 2002. — Vol. 298. — December. — P. 2171–2173.
- Palmieri S.* et al. *Climate fluctuations and trends in Italy within the last 100 years*. *Ann. Geophysicae*, 1991. — N 9. — P. 769–776.
- Postel S.* *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. — New York, W. Norton & Co., 1992.
- Proc. Symp. on *Water Resources and Utilization in the Arab World*. — 1986. — Vol. 186. Kuwait, P. 577–634.
- Richa I.* Contribution to the analysis of the hydrological cycle and of the water consumption cycle, Study CSAVL Academia (Prague), 1982. — P. 12–111.
- Rijsherman F. R.* ed. *World Water Scenarios: Analysis*. — London: Earthscan Publ., 2000.
- Rodda J. C.* et al. Towards a world hydrological cycle // *Hydrological Sciences J.* — 1993. — N 385. — October. — P. 373–378.
- Rodda J. C.* Guessing or assessment of the world's water resources? // *J. Chart. Inst. Water Mgmt.* — 1995. — N 9. — P. 360–368.
- Rosenberg N. J.* et al. From climate and carbon dioxide enrichment to evapotranspiration // *Waggoner P. E.* (ed.) *Climate Change and US Water Resources*, John Wiley & Sons. — New York, 1990. — P. 15–175.
- ROSTAS. *Rainfall Water Management in the Arab Region*. State of the Art Report. UNESCO, ROSTAS, Cairo, 1995. — 147 p.
- Schuman A. H.* Changes in hydrological time series — a challenge for water management in Germany. Proc. of Yokohama Symp., 1993. July 1993, IAHS Publ. — N 213. — P. 95–102.
- Seckler D.* et al. *World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues*. IWMI Research Report — N 19. — Colombo: International Water Management Institute, 1998.
- Shiklomanov I. A.*, *Balonishnikova J. A.* World water use and water availability: trends, scenarios, consequences. — IAHS Publ., 2003. — N 281. — P. 358–364.
- Shiklomanov I. A.* Global water resources. Nature and Resources. — 1990. — N 26 (3). — P. 34–43 (in Russian).
- Shiklomanov I. A.* et al. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. — 2000. — P. 281–297.
- Shiklomanov A. I.* et al. Widespread Decline in Hydrological Monitoring Threatens Pan-Arctic Research. *Eos. Trans. AGU.* — 2001. — Vol. 83. — N 2.
- Shiklomanov I. A.* (ed.) *Assessment of Water resources and Water Availability in the World*. Background Report for the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, Paris, WMO/SEI, 1997.
- Shiklomanov I. A.* (ed.) *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, UNESCO, Cambridge University Press, 2003. — 436 p.
- Shiklomanov I. A.*, 2000a: World water resources and water use: present assessment and outlook for 2025 // *World Water Scenarios: Analysis* (ed.) F. R. Rijsherman, P. 160–203. — London, Earthscan Publ., 2000.

- Shiklomanov I. A.*, 2000b: Appraisal and assessment of world water resources, Water International, 2000. — N 25 (1). — P. 11–32.
- Singh B.* Climate-related global changes in the southern Caribbean: Trinidad and Tobago. Global and planetary change, ELSEVIER, 1991. — Vol. 15. — N 3–4. — October. — P. 93–111.
- Sirculon J.* Impact possible des changements climatiques a venir sur les ressources en eau des regions arides et semiarides, 1990. WMO/TD. — N 380. — 88 p.
- Strzepek K., Bowling P.* UNIDO Global Industrial Water Use Assessment, draft. — New York, UNIDO.
- Thomas J. F., B. S. Bates.* 1997. Responses to the variability and increasing uncertainty of climate in Australia // Risk, Reability, Uncertainty and Robustness of Water Resource Systems, Third IHP/IAHS G. Kovacs Colloquium (Paris, 1995. September, 19–21, 1996).
- Tsytsenko K. V.* The problems of the Aral Sea Basin // World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century, UNESCO, Cambridge University Press, 2003. — P. 145–155.
- UN. United Nations Statistical Yearbook 1992, New York, UN, 1993.
- UN. World Population Prospects: The 1994 Revision, New York, UN, 1995.
- UN (DPCSD). A Review of the Adverse Effects of Water Resources Development and USE on Groundwater and Aquifers, New York, UN, 1995.
- UN/WMO/SEI. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report prepared for the 5th Session of the UN Commission on Sustainable Development. Stockholm, UN/World Meteorological Organization, Stockholm Environment Institute, 1997.
- UNESCO. Groundwater Protection in the Arab Region, Paris, IHP Publ., 1995.
- UNESCO. Proceedings of the International Conference on World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, Paris 3–6 June 1998.
- UNESCO. Water related vision for the Aral Sea Basin, 2000. — 237 p.
- Urbiztondo B. L. I. et al.* Potential climate change impacts in the middle Zambezi river basin, 1991.
- Waggoner P. E.* Climate Change and US Water Resources. New Haven, CT, Connecticut Agricultural Experiment Station, 1990.
- World Bank. World development Report 1992: Development and Environment, New York, Oxford University Press, 1993.
- WRI. World Resources 1992–1993: A Guide to the Global Environment — Toward Sustainable Development, New York, Oxford University Press, 1992.
- WRI. World Resources 1996–1997: A Guide to the Global Environment — Toward Sustainable Development, New York, Oxford University Press, 1996.
- WRI. World Resources 2000–2001: A Guide to the Global Environment — Life Environment and Policy, New York, Oxford University Press, 2000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящей монографии основное внимание уделяется проблемам изучения и оценки возобновляемых водных ресурсов России (поверхностных и подземных вод и их качества), распределению по территории и изменению во времени за многолетний период и на ближайшую перспективу (2010–2020 гг.) в условиях развития хозяйственной деятельности и антропогенных изменений глобального климата.

В монографии на основании обобщения материалов многолетних наблюдений по гидрологическому режиму и качеству поверхностных и подземных водных объектов, а также учета использования водных ресурсов и исследований изменений их формирования за счет хозяйственной деятельности на водосборах, представлены самые современные данные для всех основных речных водосборов страны, субъектов РФ, Федеральных округов и гидроклиматических регионов, их распределению по территории и изменений во времени (в том числе на перспективу), которые на долгие годы могут стать надежной основой для перспективного планирования и разработки крупномасштабных мероприятий по комплексному использованию и охраны водных ресурсов и решению комплексных проблем водообеспечения в различных регионах и речных бассейнах нашей страны.

При этом в монографии обобщены результаты исследований по проблеме, полученные российскими учеными за последние два десятилетия, в том числе включая самые последние годы. Это является очень важным обстоятельством, поскольку именно в течение последних двадцати лет в России произошли весьма серьезные изменения основных факторов, определяющих колебания водных ресурсов и их изменения во времени и по территории —

это антропогенные изменения климата и кардинальные преобразования в социально-экономической сфере. Именно поэтому важнейшей целью было выявить, как отразились эти изменения на основных характеристиках водных ресурсов и их использования в различных речных бассейнах и регионах страны и что в этой связи можно ожидать в ближайшей перспективе.

2. В монографии достаточно детально представлена информация о факторах, обуславливающих условия формирования водных ресурсов в пределах физико-географических регионов, речных водосборов и административных образований: это рельеф, климат, почвы и растительность. Здесь же приведены основные данные о гидрографии территории России — главные водоразделы, области внешнего и внутреннего стока, бассейны морей, омывающих нашу страну, крупнейшие реки и озера, водохранилища и каналы, их основные характеристики и распределение по территории.

Принимая во внимание огромную территорию России, составляющую более 10% всей территории суши нашей планеты, и большое разнообразие физико-географических условий, очевидно, что Россия является важнейшим объектом глобального масштаба, а это значит, что, с одной стороны, на нее могут оказывать особенно большое влияние любые изменения глобального гидрологического цикла, а с другой, происходящие в ней изменения компонентов гидрологического цикла являются существенным фактором воздействия на гидрологический цикл в глобальном масштабе. В связи с этим, в монографии приведены современные представления об изменениях компонентов глобального гидрологического цикла и особенностей гидрологического цикла над территорией России, кото-

рые могут оказывать заметное влияние на формирование и динамику водных ресурсов. В частности, здесь представлены весьма интересные взгляды и мнения различных ученых по проблеме современного потепления глобального климата. Несомненный научный интерес представляют и данные по генезису и составу вод, формирующих водные ресурсы крупнейших речных бассейнов России.

3. Главное внимание в монографии уделено возобновляемым водным ресурсам, интегральным показателям которых является речной сток с его подземной составляющей. Это и понятно, поскольку в России, да и практически во всех других странах мира, именно по характеристикам речного стока оценивается величина возобновляемых водных ресурсов, их динамика во времени и распределение по территории. Сток речных систем, имеющих повсеместное распространение по территории суши, как правило, обеспечивает основной объем водопотребления, определяет степень водообеспеченности территории и населения, избыток и дефицит водных ресурсов.

К возобновляемым водным ресурсам относятся и ежегодно возобновляемые подземные водные ресурсы верхних водоносных горизонтов, которые не дренируются речными системами и непосредственно поступают в крупные озера и моря. Хотя объем этих вод в нашей стране невелик по сравнению с объемом речного стока, они, как правило, имеют высокое качество и являются основой надежного водообеспечения населения.

Проблема изучения и оценки возобновляемых подземных вод достаточно полно представлена в монографии. Дан краткий обзор результатов выполненных исследований в стране, начиная со второй половины XX столетия, и представлено современное состояние проблемы изучения и оценки ресурсов подземных вод; изложены основные принципы и методические подходы оценки и картирования естественных ресурсов, а также приведен анализ существующих практических методов оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов и запасов для конкретных месторождений подземных вод. Рассмотрены основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод на территории РФ по наиболее крупным геолого-структурным и гидрогеологическим регионам и ландшафтно-климатическим зонам, а также геохимические особенности питьевых подземных вод, их качества и защищенность от загрязнения в различных физико-географических условиях.

В монографии изложены основные положения новой методики оценки возобновляемых прогнозных ресурсов подземных вод, разработанной в середине 1990-х гг. в компании «ГИДЭК», на основе которой впервые получены характеристики прогнозных ресурсов подземных вод не только для всех выделенных гидрогеологических структур на территории России, но и для крупных речных бассейнов и всех субъектов РФ; все эти оценки впервые в полном виде представлены в настоящем издании.

Суммарные возобновляемые прогнозные ресурсы подземных вод для территории РФ составляют 400 км^3 в год, или 9,7% от ресурсов речного стока, эксплуатационные запасы — $33,5 \text{ км}^3/\text{год}$. Большая часть ресурсов — 56% от их общей величины по РФ сосредоточена в бассейнах крупнейших сибирских рек — Енисея, Лены и Оби. Бассейну р. Волга принадлежит 13% подземных водных ресурсов, что составляет 20% среднегодового стока реки. При этом в ряде бассейнов крупных рек европейской части РФ величины прогнозных ресурсов подземных вод составляют 25–35% от среднегодового речного стока, а в некоторых субъектах Федерации могут достигать 40–50% и более от величин поверхностных водных ресурсов. В монографии рассмотрены и характеристики современного использования подземных вод на территории России и представлена классификация субъектов РФ по их обеспеченности ресурсами подземных вод; кроме того, выполнен анализ обеспеченности потребностей крупных городов эксплуатационными запасами подземных вод.

4. В монографии приведены сведения и о статических или вековых запасах воды на территории РФ. К статическим запасам прежде всего относят те виды пресных вод, которые имеют длительный период полного возобновления, исчисляемый многими годами, десятилетиями и даже столетиями (озера, горные ледники, глубокие подземные воды, льды вечной мерзлоты). В этот вид вод условно включают и запасы воды, которые постоянно находятся в водохранилищах и в руслах рек, в болотах, в почвенной толще, в живых организмах и в атмосфере. Статические запасы пресной воды достаточно велики на территории нашей страны, но они не предназначены для сколько-нибудь интенсивного водопотребления, поскольку это неизбежно приводит к истощению запасов и неблагоприятным экологическим последствиям, нарушению веками установившегося равновесия в природе, на восстановление которого могут потребоваться десятки и сотни лет.

5. Основные разделы монографии посвящены изучению и оценке ресурсов речного стока по всем основным речным водосборам и бассейнам морей, по всем субъектам РФ и Федеральным округам, другим административным и физико-географическим регионам, их изменений за счет водопотребления и других видов хозяйственной деятельности, а также в результате антропогенных воздействий на глобальный климат.

При этом, учитывая, что в последние два десятилетия в России произошли серьезные изменения климата и кардинальные преобразования в социально-экономической сфере, все оценки и анализ различных характеристик водных ресурсов и их использования рассмотрены авторами в динамике за весь многолетний период наблюдений, и в том числе отдельно за период стационарного климата и стабильного социально-экономического развития, т. е. с начала массовых гидрологических наблюдений до 1980-х гг., и за последние 20–25 лет в условиях интенсивного изменения климата и кардинальной перестройки социально-экономической ситуации в стране. Для российских ученых и специалистов-проектировщиков, работающих в области гидрологии и водного хозяйства, такой подход особенно важен для их практической деятельности, поскольку в условиях современной ситуации в нашей стране, как правило, имеется свободный доступ лишь к гидрологической информации, которая опубликована за период до 1980–1985 гг.

На основании детального анализа данных многолетних наблюдений в монографии представлена динамика водных ресурсов основных речных бассейнов РФ и притока речных вод в моря. Показано, что для крупнейших речных бассейнов страны характерна тенденция увеличения водных ресурсов. В последние два десятилетия заметно увеличился суммарный речной сток в РФ, в том числе сток сибирских рек и северных рек европейской части РФ, впадающих в Северный Ледовитый океан, возрос годовой сток р. Волги и приток речных вод в Каспийское море. Наряду с этим приток речных вод с территории России в Тихий океан и в Азовское море имеет некоторую тенденцию уменьшения.

Важные практические выводы получены применительно к изменениям внутригодового распределения водных ресурсов речных бассейнов. Анализ многолетних данных по месячному стоку средних рек с естественным гидрологическим режимом показал, что в последние 20–25 лет практически на

всей территории РФ произошли весьма серьезные изменения внутригодового распределения речного стока, которые прежде всего связаны с увеличением водности рек в меженные периоды, особенно в зимние месяцы. Наблюдавшееся синхронно на огромной территории увеличение меженного стока (особенно зимнего) и масштабы этих изменений (до 50–100%) являются неординарными и не имеют аналогов в XX столетии. Рост меженного стока обусловил увеличение водных ресурсов даже в бассейнах рек, где произошло снижение стока весеннего половодья. Такая ситуация для условий России сложилась впервые, так как ранее все значительные маловодные и многоводные фазы прежде всего определялись величиной стока весеннего половодья. Тенденция увеличения зимнего стока рек характерна и для большинства крупных речных систем с естественным гидрологическим режимом.

Основной причиной увеличения меженного стока рек, как показали исследования, является гидрометеорологическая ситуация, при которой были созданы благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод и увеличения их запасов в различных подземных горизонтах.

6. В монографии представлены данные и по запасам воды в озерах России, их распределению по территории, по озерности различных регионов, приведены основные характеристики озер с площадью более 250 км², выполнен анализ многолетней динамики уровней и изменений водного баланса за различные многолетние периоды крупнейших озер страны.

Суммарная площадь естественных озер России составляет (без Каспийского моря) примерно 216 тыс. км² или 1,3% всей территории суши. При этом в отдельных озерных регионах озерность достигает 10–12%. Суммарные запасы воды в российских озерах составляют 25 840 км³, из которых 91,4% (23 615 км³) находится в оз. Байкал — крупнейшем в мире озере по запасам пресной воды.

Анализ динамики уровней воды представлен в монографии для оз. Ладожское, Ильмень, Онежское, Чудско-Псковское, Чаны и Байкал. По этим же озерам, а также по оз. Таймыр и Ханка приведены оценки водного баланса за отдельные многолетние периоды.

7. Значительное внимание уделено в монографии проблемам комплексных антропогенных изменений водных ресурсов речных бассейнов в условиях современной ситуации социально-экономического развития страны. Рассмотрены возможно-

сти изменений характеристик речного стока под влиянием самых различных видов хозяйственной деятельности, действующих на речных водосборах и в руслах рек, а также связанных с возможными воздействиями на характеристики влагооборота и газовый состав атмосферы; представлены масштабы развития и общие методические подходы оценки их воздействия на водные ресурсы крупных речных бассейнов, расположенных в различных физико-географических условиях.

Показано, что в условиях современной России основными видами хозяйственной деятельности, которые могут оказывать заметное влияние на количественные характеристики водных ресурсов крупных регионов и речных бассейнов, являются непосредственное потребление воды на промышленно-коммунальные нужды, орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, сооружение и эксплуатация водохранилищ, а также факторы, связанные с антропогенным воздействием на климат путем изменения газового состава атмосферы.

В монографии представлен анализ состояния учета использования пресной воды в России и результатов выполненной оценки динамики за многолетний период полного и безвозвратного водопотребления на различные хозяйственные нужды, а также суммарного изменения за счет комплекса антропогенных факторов водных ресурсов основных речных бассейнов и для страны в целом; рассмотрены особенности этих процессов за последние 15–20 лет в условиях коренных преобразований в социально-экономической сфере и резкого уменьшения промышленного и сельскохозяйственного производства.

Если в период с 1980 по 1990 г. общее водопотребление в стране на хозяйственные нужды составляло 95–100 км³ в год, а снижение суммарного речного стока за счет комплекса антропогенных факторов оценивалось в 44 км³ в год, то на современный уровень эти величины составляют, соответственно, 60 и 29 км³ в год, или примерно 1,5 и 0,7% от суммарных ресурсов речного стока. Имеет место и существенное уменьшение за этот период влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы основных речных бассейнов, особенно заметное для бассейнов рек Волги и Дона.

Имея фактические данные по антропогенным изменениям водных ресурсов речных бассейнов за период с 1980 по 2000 г., в монографии приведен анализ результатов соответствующих прогнозных оценок на период до 2000 г., которые были выпол-

нены в ГГИ в середине 1970–1980-х гг.; показано, что неудачи этих оценок главным образом объясняются невыполнением намечаемых в те годы грандиозных перспективных планов развития водопотребляющих производств и, прежде всего, массового расширения орошаемых площадей.

8. Вместе с антропогенными изменениями количественных характеристик водных ресурсов, в монографии впервые представлена оценка качества поверхностных вод Российской Федерации, основанная на обобщении гидрохимических данных, полученных на сети Росгидромета за период с 1991 по 2005 г. Изложены методические подходы оценки качества воды для речных бассейнов и регионов; на основе анализа и обобщения гидрохимических наблюдений дана комплексная оценка качества и динамики уровня загрязненности воды основных речных бассейнов: Волги, Невы, Дона, Оби, Енисея и Амура. Для всех бассейнов приведены карты-схемы распределения наиболее распространенных и характерных загрязняющих веществ, показана их динамика по пятилетиям (1991–1995, 1996–2000, 2001–2005 гг.). Проведена классификация степени загрязненности и условное разделение диапазона состава и свойств поверхностных вод в условиях антропогенных воздействий по пяти классам от «условно чистой» до «экстремально грязной».

Дан анализ изменения уровня загрязненности поверхностных вод России по гидрографическим районам; в каждом районе показана динамика содержания в воде нефтепродуктов, фенолов, аммонийного и нитратного азота, легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), соединений меди, железа, цинка. Проведена комплексная оценка качества водных объектов на территории Федеральных округов и входящих в них субъектов Федерации по данным наблюдений, полученным в течение 2000–2005 гг. При этом показатели качества воды водных объектов каждого Федерального округа и избранных субъектов Федерации, входящих в них, отображены на соответствующих картах, на которых представлено процентное соотношение качества воды водных объектов по классам; показаны также критические загрязняющие вещества и тенденции изменения качества воды (стабилизация, улучшение, ухудшение).

9. С практической точки зрения наиболее важные оценки динамики водных ресурсов (поверхностных и подземных), их качества, уровня их хозяйственного использования и водообеспеченности представлены в монографии применительно к тер-

риториям субъектов РФ, гидроклиматических регионов и Федеральных округов.

Для каждого региона впервые приведены совместно ежегодные оценки возобновляемых ресурсов поверхностных вод за период с 1930 по 2005 г., включая формирующиеся на территории региона и поступающие с прилегающих территорий, ежегодные величины водопотребления на различные хозяйственные нужды и полученные в самые последние годы значения возобновляемых прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод. Для поверхностных водных ресурсов выполнены расчеты и анализ динамики во времени, изменчивости, наличия тенденций и трендов, величин за отдельные маловодные периоды и за последние два десятилетия.

Суммарные поверхностные водные ресурсы России, формирующиеся непосредственно на ее территории, составляют в среднем 4118 км^3 в год, кроме того, 206 км^3 ежегодно поступает с прилегающих территорий. В многолетнем разрезе водные ресурсы нашей страны имеют тенденцию увеличения; так за последние 20 лет они увеличились на 220 км^3 , или примерно на 5%. При этом в разной степени, но это увеличение имеет место во всех Федеральных округах. Анализ показывает, что тенденция увеличения водных ресурсов в последние десятилетия имеет место и в большинстве субъектов РФ, в то же время в 14 из них водные ресурсы были ниже нормы; в основном это южные регионы, суммарная площадь их составляет примерно 11% территории России и в них проживает 11% всего населения.

Состояние водных ресурсов и возможности водообеспечения в том или ином регионе определяются не только величиной возобновляемых водных ресурсов, но и объемом водопотребления и численностью населения. Исходя из международной практики, в количественном отношении состояние водных ресурсов оценивается по коэффициенту их использования (нагрузка на водные ресурсы) или по удельной водообеспеченности на одного жителя, которые рассчитываются относительно местных и суммарных водных ресурсов, т. е. с учетом притока речных вод с сопредельных территорий.

Приведенные результаты оценок показывают, что к настоящему времени целый ряд субъектов РФ, в основном расположенных в Южном, Приволжском и Центральном федеральных округах имеют критически высокую нагрузку на водные ресурсы и низкую удельную водообеспеченность не только относительно местных, но даже суммар-

ных водных ресурсов; особенно это имеет место в маловодные годы. В то же время в большинстве субъектов РФ, расположенных в Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном округах, имеет место очень высокая водообеспеченность и низкая нагрузка на водные ресурсы независимо от водности года.

Таким образом, несмотря в целом на тенденцию увеличения в России суммарных водных ресурсов и происшедшего снижения объемов водопотребления при сокращении численности населения, главный недостаток российских водных ресурсов — их крайне неравномерное распределение по территории страны, не согласующееся с потребностями в пресной воде, еще более усугубился: в ряде южных регионов в результате миграции населения, уменьшения водных ресурсов и их возрастающего загрязнения проблемы водообеспечения могут стать особенно острыми и необходимо принятие неотложных мер по их эффективному решению.

10. Для гидрологического обоснования долгосрочного планирования социально-экономического развития страны и разработки мероприятий по охране окружающей среды важнейшей проблемой является прогнозная оценка на перспективу водных ресурсов, водопотребления и водообеспеченности, обусловленных изменениями климата и хозяйственной деятельностью человека.

Особое значение такие оценки имеют для территории России, где происшедшие и ожидаемые в перспективе изменения климата более, чем в два раза превышают среднемировые показатели и где, без малого, в течение последних двух десятилетий происходят кардинальные преобразования в социально-экономической сфере, которые не могут не влиять на формирование и использование водных ресурсов. В монографии перспективные оценки возможных изменений водных ресурсов и водообеспеченности на период до 2015–2020 гг. представлены для основных речных бассейнов, гидроклиматических регионов и федеральных округов.

В основу прогнозных оценок изменений водных ресурсов за счет процессов глобального потепления климата положен методический подход, предполагающий использование климатических сценариев, полученных на современных МОЦАО и разработанных гидрологических моделей крупных речных водосборов. В качестве сценариев использовались данные МОЦАО, рекомендованные в третьем и четвертом докладах МГЭИК; гидрологические модели, по которым оценивались изменения водных

ресурсов, были разработаны в ГГИ и в США, в Исследовательском центре при Университете штата Нью-Гемпшир.

Выполненные многочисленные расчеты с использованием самых различных вариантов поступления в атмосферу парниковых газов и аэрозоля и различных типов МОЦАО показывают, что на период 2010–2030 гг. на большей части территории РФ следует ожидать в среднем незначительного увеличения водных ресурсов (на 3–10%); исключения составляют отдельные регионы и речные бассейны южной части Северо-Западного, Центрального и Южного федеральных округов, где можно ожидать небольшого (на 0–5%) уменьшения водных ресурсов (по сравнению с многоводным периодом 1980–2000 гг.). В последующий многолетний период (2030–2050 гг.) характер изменений сохранится, но показатели увеличения водных ресурсов для России в целом возрастут примерно вдвое. При этом, как при оценках на первый, так и второй период, отмечается очень большой разброс полученных значений по разным МОЦАО, главным образом обусловленных прогнозируемыми величинами изменений осадков; все это свидетельствует о наличии очень больших неопределенностей в оценках ожидаемых изменений водных ресурсов, которые никак не уменьшились к четвертому докладу МГЭИК.

Прогнозные оценки водопотребления на период 2020 г. базируются на результатах разработок, выполненных ведущими экономистами страны по прогнозированию развития промышленного производства и динамики численности населения, а также прогнозов ученых Россельхозакадемии по перспективному развитию мелиорации земель.

В соответствии с выполненными исследованиями, суммарное водопотребление в стране за период с 2005 по 2020 г. возрастет примерно на 9%, при увеличении сельскохозяйственного водопотребления примерно в 2,5 раза и сокращении затрат свежей воды на нужды промышленности примерно на 10% и коммунального хозяйства — на 25%. Наибольший рост водопотребления следует ожидать в Южном и Приволжском ФО, а также в черноземных областях Центрального ФО и юго-западной части Сибирского ФО.

На основании анализа современных (за последние десятилетия) тенденций изменений водных ресурсов основных речных бассейнов, их ожидаемых изменений в перспективе по различным сценариям МОЦАО и данных прогнозных оценок

водопотребления, в монографии приведены результаты оценок на уровень 2020 г. изменений по сравнению с 2005 г. величин нагрузки на водные ресурсы и водообеспеченности для всех гидроклиматических регионов страны. Показано, что в ряде регионов РФ, расположенных в Центральном (особенно в черноземных областях), в Южном и Приволжском федеральных округах следует ожидать некоторого уменьшения удельной водообеспеченности за счет планируемого увеличения орошаемых площадей; на большей же части страны водообеспеченность несколько возрастет в результате ожидаемого увеличения водных ресурсов и сокращения численности населения.

11. Детально рассматривая проблемы динамики водных ресурсов и их использования для социально-экономических условий и территории России, представляет интерес их сравнить с глобальными проблемами: применительно к природно-экономическим регионам, континентам и различным странам мира. Этим вопросам посвящена последняя, 12 глава монографии, где представлены исходные данные и методические подходы оценки возобновляемых водных ресурсов в глобальном масштабе, дана оценка современного состояния сети и базы мировых гидрологических данных, рассмотрены проблемы получения и обмена гидрологической информацией; приведены результаты исследований ГГИ по оценке за многолетний период водных ресурсов крупнейших речных бассейнов, избранных стран мира, природно-экономических регионов и континентов, притока речных вод в океаны.

Для всех континентов и крупнейших (по величине водных ресурсов) стран мира выполнен анализ динамики водных ресурсов, а для океанов притока речных вод за многолетний период (1921–1985 гг.); для Северного Ледовитого океана данные представлены более детально (по различным регионам) и за более продолжительный период (по 1999 г.), т. е. в условиях наблюдающихся изменений климата.

По новым данным, суммарная величина возобновляемых водных ресурсов мира, рассчитанная за период с 1921 по 1985 г., оценена в 42 800 км³ в год (без Антарктиды), что примерно на 5000 км³ больше величин, полученных в 1975 г. немецкими учеными и на 1800 км³ меньше прежних детальных оценок ГГИ (1974 г.). Если сравнить данные по отдельным континентам, то различие между оценками ГГИ 1974 г. и современными более значительны и составляют от 5 до 12%.

Суммарная величина притока в Мировой океан оценивается в $39\,500\text{ км}^3$ в год; при этом наибольший приток имеет место с Южно-Американского и Азиатского континентов (примерно по $11\,800\text{ км}^3/\text{год}$), наименьший — с Австралии с Океанией ($2300\text{ км}^3/\text{год}$) и с Европы ($2500\text{ км}^3/\text{год}$).

В монографии представлены данные по использованию пресных вод различными водопотребителями в глобальном масштабе; по странам, регионам и континентам; приводится динамика водопотребления, водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы за период двадцатого столетия и на перспективу до 2010–2025 гг. по разработанным в ГГИ различным сценариям развития водопотребления, анализируются данные по динамике сооружения водохранилищ в мире за многолетний период и по их влиянию на безвозвратное водопотребление в различных физико-географических условиях, рассмотрены проблемы влияния изменений климата на водные ресурсы в различных природных зонах.

Полное водопотребление в мире на уровень 2000 г., по данным ГГИ, составило $3970\text{ км}^3/\text{год}$,

безвозвратное — $2180\text{ км}^3/\text{год}$. В перспективе, согласно Условному Сценарию ГГИ (этот сценарий предполагает перспективное развитие водопотребления в регионах и странах мира по модели предшествующих десятилетий), полное водопотребление будет расти на 10–12% за каждые 10 лет и достигнет к 2025 г. величины примерно $5200\text{ км}^3/\text{год}$, а безвозвратное — $2800\text{ км}^3/\text{год}$.

По Сценарию Устойчивого Развития (предполагает в перспективе существенное повышение эффективности использования водных ресурсов всеми потребителями) полное водопотребление в мире к 2025 г. составит $4000\text{ км}^3/\text{год}$, а безвозвратное — $2200\text{ км}^3/\text{год}$, т. е. практически останется на уровне 2000 г. По обоим сценариям в монографии представлена оценка на перспективу водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы по всем природно-экономическим регионам мира, выявлены наиболее дефицитные в отношении располагаемых водных ресурсов регионы, рассмотрены возможные пути устранения дефицита водных ресурсов.

CONTENT

Preface	13	3.2.2. Main factors	58
Chapter 1 (Introduction)		3.2.3. Water exchange processes	60
RENEWABLE WATER RESOURCES		3.2.3.1. Ocean-atmosphere water exchange;	
IS THE BASIS OF SOCIO-ECONOMIC		evaporation from water surface and	
DEVELOPMENT (I. A. Shiklomanov).....	15	precipitation	60
References.....	23	3.2.3.2. Land-atmosphere water exchange;	
		evaporation from land and precipi-	
		tation.....	62
Chapter 2		3.2.3.3. Land-ocean water exchange; river	
PHYSIOGRAPHIC CONDITIONS AND HY-		runoff	64
DROGRAPHY OF THE TERRITORY OF THE		3.2.3.4. Surface — groundwater interaction .	67
RUSSIAN FEDERATION (V. I. Babkin).....	25	3.2.4. World water balance.....	68
2.1. General information	25	3.2.5. On present changes in the global hydro-	
2.2. Continental part	26	logical cycle.....	73
2.2.1. Relief.....	26	3.3. Hydrological cycle for the territory of Russia	
2.2.2. Climate	32	(V. I. Babkin).....	77
2.2.3. Soils and vegetation (I. A. Nikiforova)...	37	3.3.1. Water exchange in atmosphere.....	77
2.2.4. Hydrography	41	3.3.2. Water exchange in land	82
2.2.4.1. Main watersheds	41	3.3.2.1. Atmospheric precipitation.....	82
2.2.4.2. Major rivers and lakes; reservoirs and		3.3.2.2. Evaporation	87
channels (T. I. Printseva).....	43	3.3.2.3. River runoff.....	88
2.3. Islands (E. L. Skoryatina).....	48	3.3.3. Origin and composition of water in the	
References.....	50	major river basins	90
		3.3.4. Components of the hydrological cycle	
		and their modern variations	95
		References	96
Chapter 3		Chapter 4	
HYDROLOGICAL CYCLE AND WATER RE-		SLOWLY RENEWABLE WATER RESOURC-	
SOURCES	52	ES («AGE-OLD» WATER STORAGE)	
3.1. Earth's hydrosphere (I. A. Shiklomanov).....	52	(V. I. Babkin).....	99
3.1.1. Basic concept and definitions.....	52	4.1. General.....	99
3.1.2. Water storage in the hydrosphere and		4.2. Lakes	99
duration of its renewal.....	53	4.3. Reservoirs	100
3.2. Global hydrological cycle (I. A. Shikloma-		4.4. Swamps	101
nov)	57		
3.2.1. General mechanism	57		

4.5. River channels	101
4.6. Biological water	102
4.7. Atmospheric water	103
4.8. Soil moisture	103
4.9. Groundwater storage in the upper part of the Earth's crust	103
4.10. Water storage in the ice	105
4.11. Permafrost, subsurface ice and aufeis	106
4.12. Water storage and duration of its renewal	108
References.	109

Chapter 5

WATER RESOURCES OF RIVER WATERSHEDS AND SEA BASINS OF RUSSIA 110

5.1. Hydrological network and its development (N. N. Bobrovitskaya)	110
5.2. Methodological approach for assessment of water resources (V. I. Babkin)	114
5.2.1. General	114
5.2.2. Runoff linear equation method	116
5.3. Major river basins (V. I. Babkin, T. G. Markelova, E. L. Skoryatina)	118
5.4. Sea basins (T. G. Markelova)	120
5.5. Long-term water resources fluctuations; and their variability (V. I. Babkin)	126
5.5.1. River runoff fluctuations	126
5.5.2. Dynamics of water resources (T. G. Markelova)	127
5.5.2.1. Methods and results of assessing	127
5.5.2.2. Testing of hypothesis about existing linear trends	129
5.5.2.3. Results of analysis on stationarity (homogeneity)	129
5.5.2.4. Results of research of linear trends	131
5.6. Simultaneity and nonsimultaneity in fluctuations of water resources (T. G. Markelova)	134
5.7. Intra-year distribution of river runoff (V. Yu. Georgievsky, A. L. Shalygin, T. G. Molchanova)	137
5.7.1. General characteristics	137
5.7.2. Long-term dynamics impact of warming	139
5.7.2.1. General methodological approach	140
5.7.2.2. Present changes in river water regime	144
5.7.2.3. Causes of present changes in the intra-year runoff distribution	153

5.7.2.4. Response of rivers of the temperate climatic zone to the climate warming	154
5.7.3. Intra-year runoff distribution of the main rivers of Russia	155
References.	163

Chapter 6

WATER RESOURCES OF LAKES 166

6.1. Distribution over the territory (T. P. Gronskaya)	166
6.2. Water storage (T. P. Gronskaya)	167
6.3. Water level (N. A. Lemeshko)	169
6.4. Water balance (T. P. Gronskaya)	173
References.	175

Chapter 7

SURFACE WATER QUALITY (A. M. Nikanorov, L. I. Minina, E. E. Lobchenko, V. P. Emel'yanova, I. P. Nichiporova) 176

7.1. State water quality control network on water contamination	176
7.2. Methodological approach for assessment of contamination of river basins and administrative regions	179
7.3. Surface waters contamination for regions and river basins	180
7.4. Dynamics of surface water contamination by hydrographic regions	217
References	228

Chapter 8

RENEWABLE GROUNDWATER RESOURCES 229

8.1. Basic notions and definitions (B. V. Borevsky, I. S. Zektser, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	229
8.2. Present state of the problem (B. V. Borevsky, I. S. Zektser, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	233
8.3. Methods for assessing and mapping natural groundwater resources (I. S. Zektser)	235
8.4. Methods for assessing and mapping useful and predicted groundwater resources (B. V. Borevsky, L. S. Yazvin)	238

8.5. Principle rules of formation and distribution natural groundwater resources (I. S. Zektser) . . .	244	9.3.1. General information (T. P. Gronskaya) . . .	307
8.6. Geochemical features of underground drinking water (M. S. Golitsin, V. P. Zakutin)	248	9.3.2. The role of the major reservoirs in river runoff control (T. P. Gronskaya, I. P. Zaretskaya)	313
8.6.1. General	248	9.3.3. Reservoirs as a fresh water users (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova)	319
8.6.2. Geochemical provinces	250	9.3.3.1. Methodology for assessment of additional water losses for evaporation. . .	319
8.6.3. Groundwater quality	253	9.3.3.2. Analysis of additional water losses for evaporation values for the Volga and Dnieper rivers basins	321
8.7. Principal statements of the methodology for assessment of renewable predicted groundwater resources (B.V. Borevsky, L. S. Yazvin) . . .	255	9.3.3.3. Simplified scheme for calculation of additional water losses from reservoirs.	322
8.8. Arial distribution of the predicted groundwater resources (B.V. Borevsky, T. I. Sharova, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	260	9.3.4. Recovery of regulated river discharge (V. Yu. Georgievsky, A. L. Shalygin)	325
8.9. Present groundwater use (B.V. Borevsky, S. L. Pugach, T. I. Sharova, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	275	9.3.4.1. General.	325
8.10. Principles of assessment of groundwater availability for population (B.V. Borevsky, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	279	9.3.4.2. Methods of research	326
References.	280	9.3.4.3. Case study of runoff recovery for Volga river basin	328
		9.3.4.4. Retransformation of month series of large river runoff regulated by reservoirs	331
Chapter 9		9.3.5. Water balance of the major reservoirs (T. P. Gronskaya, I. P. Zaretskaya)	335
ANTHROPOGENIC CHANGES IN WATER RESOURCES	282	9.4. Anthropogenic factors in catchments and their impact on river runoff (I. A. Shiklomanov) . . .	341
9.1. Factors of economic activity and methodological basis for assessment of their impact on water resources (I. A. Shiklomanov)	282	9.4.1. Forestry activities	341
9.1.1. Common statements.	282	9.4.2. Agro-technical activities.	344
9.1.2. Classification of economic activities factors	283	9.4.3. Drainage amelioration (K. V. Tsyt-senko)	349
9.1.3. General methodological approach for assessment and forecasting.	284	9.4.4. Urbanization.	351
9.2. Impact of industrial, agricultural and municipal water use on water resources.	288	9.5. Anthropogenic factors associated with climate change (I. A. Shiklomanov)	353
9.2.1. Water withdrawal and water consumption. Dynamics of total water use (I. A. Shiklomanov)	288	9.5.1. On changes in characteristics of moisture cycle due to fresh water use.	353
9.2.2. Municipal water use (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova)	291	9.5.2. Changes in gas composition of the atmosphere and their effect on climate and water resources	355
9.2.3. Water use by industry and for power production (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova).	295	9.6. The dynamics of changes in water resources of river basins under the impact of complex of anthropogenic factors (I. A. Shiklomanov, J. A. alonishnikova, K.V. Tsyt-senko)	358
9.2.4. Irrigation and agricultural water use (I. A. Shiklomanov, K.V. Tsyt-senko)	299	9.6.1. Assessments made in the 70s and 80s years	358
9.3. Reservoirs and their effect on hydrological regime and water resources.	307	9.6.2. Present-day assessments of anthropogenic changes in river runoff.	362
		References.	368

Chapter 10**WATER RESOURCES, USE, AVAILABILITY AND QUALITY BY FEDERAL SUBJECTS AND FEDERAL DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION 374**

10.1. General (V. I. Babkin)	374
10.2. Methods for assessing renewable surface water resources (V.I. Babkin, T. G. Markelova)	375
10.3. Renewable surface water resources and their variability (V. I. Babkin)	376
10.3.1. Average annual water resources (T. G. Markelova)	376
10.3.2. Water resources variability (T. G. Markelova)	383
10.3.3. Water resources in low water periods (E. L. Skoryatina)	383
10.4. Long-term dynamics of locally formed water resources (V. I. Babkin)	387
10.4.1. Results of series of local water resources stationarity (homogeneity) analysis (T. G. Markelova)	388
10.4.2. Results of research of linear trends in the series of local water resources (T. G. Markelova)	389
10.4.3. Changes in local water resources in the period 1985–2005 as compared with 1930–1984	389
10.4.4. Natural specific water availability for the population and the territory in the years of different water content (T. G. Markelova, E. L. Skoryatina)	393
10.5. Water use and water availability, load on water resources	396
10.5.1. Main factors and assessment methods (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova)	396
10.5.2. Characteristics of socio-economic development, water use and availability by Federal districts (J. A. Balonishnikova)	400
10.5.3. Water use, load on water resources and water availability by subjects and hydro-climatic regions of the Russian Federation (J. A. Balonishnikova)	409
10.6. Assessment of water quality by regions and subjects of the Russian Federation (A. M. Nikanorov, L.I. Minina, E. E. Lobchenko, V. P. Emel'yanova, I. P. Nichiporova)	418
10.7. Groundwater resources, their use and quality (B.V. Borevsky)	420

10.7.1. Methods for assessing (I. S. Zektser, L. S. Yazvin)	420
10.7.2. Groundwater use, quality and time dynamics (V. P. Zakutin, S. L. Pugach, L. S. Yazvin, A. L. Yazvin)	421
10.7.2.1. Predicted useful groundwater resources	421
10.7.2.2. Useful groundwater storage	426
10.7.2.3. Water intake and use	427
10.7.2.4. Characteristics of water quality for domestic purposes	431
10.7.2.5. Time dynamics of groundwater fluctuations	434
10.8. Regions the most severely lacking surface and groundwater resources (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova)	435
References	439

Chapter 11**WATER RESOURCES IN THE FUTURE 441**

11.1. General approach to methodology for forecasting of water resources (I. A. Shiklomanov)	441
11.2. Estimates of future changes in river runoff by climate scenarios (I. A. Shiklomanov, V. Yu. Georgievsky, A. L. Shalygin, M.V. Georgievsky, O. F. Golovanov, A.I. Shiklomanov)	442
11.2.1. General methodology	442
11.2.2. Analysis and selection of climate scenarios	445
11.2.3. Expected changes in annual and seasonal runoff of the main river basins	449
11.2.3.1. Review of past results	450
11.2.3.2. Estimates of possible changes in water resources by new climate scenarios	456
11.2.3.3. Review of the results of research on estimating prospective changes in water regime	462
11.3. Estimates of water resources of the major river basins based on the analysis of hydrological series long-term structure (A.V. Babkin)	464
11.3.1. Prediction methods	464
11.3.2. Estimates of future water resources of the river basins (I. A. Nikiforova)	466
11.4. Estimates of future changes in groundwater resources (B.V. Borevsky)	469

11.5. Expected dynamics of water quality (A. M. Nikanorov, L.I. Minina, E. E. Lobchenko, I. P. Nichiporova)	471
11.6. Estimates of prospective water use (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova, K.V. Tsytsenko)	473
11.6.1. Initial data and methodical approach	473
11.6.2. River basins and regions of Russia	481
11.7. Water resources, water availability and load on water resources of the hydroclimatic regions of the Russian Federation for 2015–2020 (I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova, R. V. Tremoskina)	484
References	486
Chapter 12	
WORLD WATER RESOURCES AND THEIR USE (I. A. Shiklomanov)	490
12.1. Brief review of the research results	490
12.2. Initial data and general approaches to assessment of renewable water resources (V. I. Babkin)	492
12.3. The world hydrological network	494
12.4. Renewable world water resources	498
12.4.1. Initial data and assessment methods used by the SHI (V. I. Babkin)	498
12.4.2. River basins (V. I. Babkin)	501
12.4.3. Continents and natural - economic regions (V. I. Babkin)	503
12.4.4. Water resources of reservoirs (J. A. Balonishnikova)	511
12.4.5. Water resources of selected countries	517
12.5. River inflow to the oceans (V. I. Babkin)	522
12.5.1. Water resources and river inflow into oceans (V. I. Babkin)	522
12.5.2. Climate changes and river inflow dynamics into the Arctic Ocean (A. I. Shiklomanov)	525
12.6. World water use: current state and trends (J. A. Balonishnikova, N.V. Penkova)	529
12.6.1. Method of assessing and forecasting water use and water availability	529
12.6.2. Analysis of the assessments and world water use forecasts	539
12.6.3. Water use dynamics by continents	541
12.6.4. Water use dynamics by the natural-economic regions	545
12.6.5. Water use in different countries of the world	547
12.7. Water resources, water withdrawal and water availability (J. A. Balonishnikova)	552
12.8. World water resources in the early twenty-first century, given improved efficiencies in freshwater use (J. A. Balonishnikova)	558
12.8.1. Scenarios under the «World Water Vision» project	558
12.8.2. Sustainable Development Scenario (SHI)	561
12.8.3. Water use, load on water resources and water availability under the Sustainable Development Scenario	561
12.9. The effects of man-made climate changes on water resources and water use	565
12.9.1. General	565
12.9.2. Recent changes in hydrometeorological regime and water resources	566
12.9.3. Estimates of changes in precipitation, water resources and water availability for the future	568
12.10. The ways of water resources deficit elimination	576
References	582
Conclusion	587

Научное издание

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Ответственный редактор *Ж. А. Балонишникова*

Технический редактор *О. В. Колесниченко*

Корректор *В. С. Кизило*

Оператор *Л. В. Васильева*

Художник *О. В. Руднева*

Scanned the Coregonus, 2017

Сдано в набор 21.06.08. Подписано в печать 15.10.2008. Формат 84×108¹/₁₆.

Бумага мелованая. Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная.

Уч.-изд. 78,6. Усл. печ. л. 60. Тираж 600 экз. Заказ № 3601

Государственный гидрологический институт
199053, Санкт-Петербург, 2-я линия В. О., д. 23,
тел. (812) 323-35-17, ishiklom@zb3627.spb.edu

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП «Типография „Наука“»
199034, Санкт-Петербург, В. О., 9-я линия, д. 12.