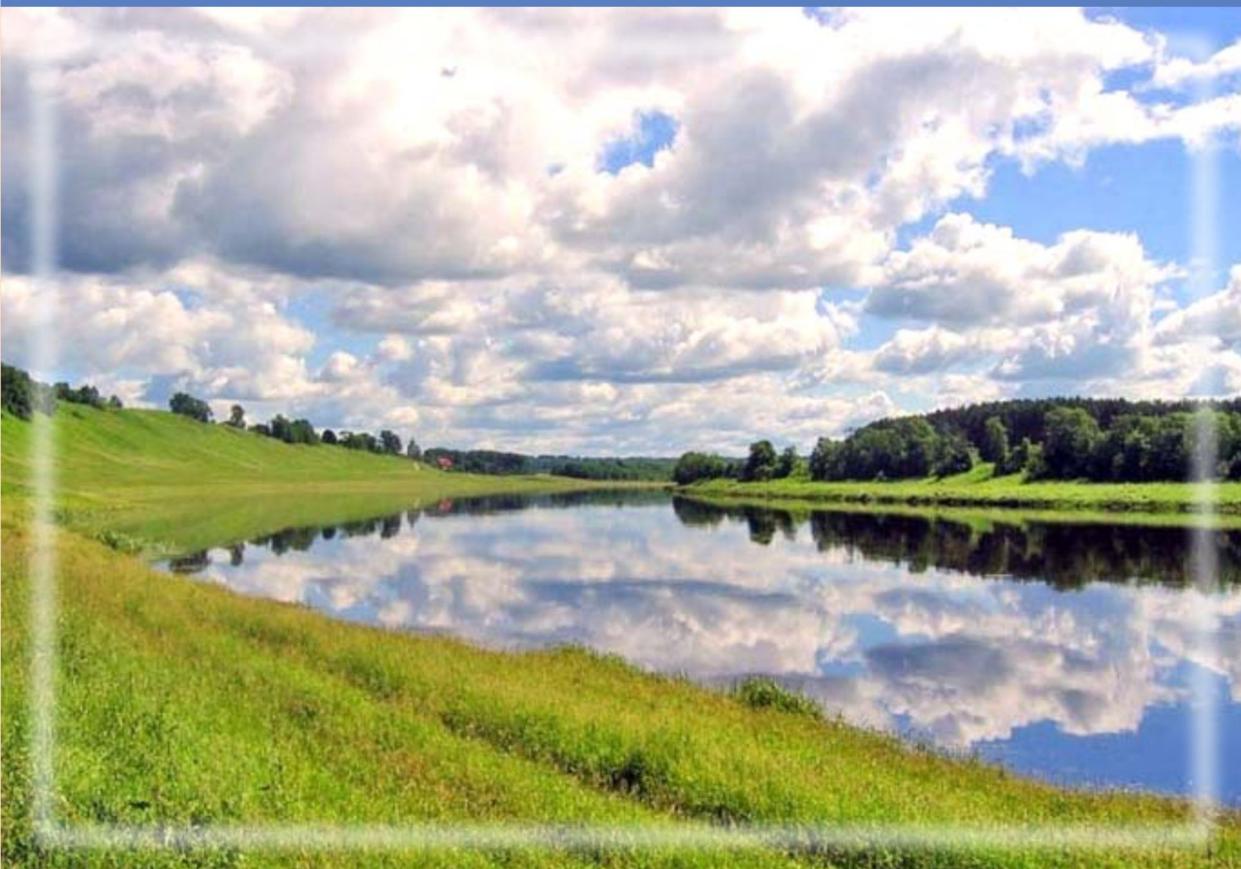




НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ СПРАВОЧНИК

ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Под редакцией
В. Ю. ГЕОРГИЕВСКОГО



Ливны
2015

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ СПРАВОЧНИК
**ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК
БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**

Под редакцией
В. Ю. ГЕОРГИЕВСКОГО

Ливны, 2015

УДК 556.5.04
ББК 26.222
НЗ46

НЗ46 Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги [Электронный ресурс] / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. - Электрон. Текстовые и граф. дан. в формате PDF (2 файла: 35Мб). – Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) - Систем. требования: ПК 486 или выше; 8 Мб ОЗУ; Windows 95; SVGA; 4x CD-ROM дисковод; мышь; Acrobat Reader 3.0 или старше. - Загл. с экрана. - Диск помещен в контейнер 12,5x14 см.
ISBN 978-5-904246-64-8

В справочнике представлены результаты расчетов основных гидрологических характеристик по 462 постам бассейна рек Верхней Волги за период по 2010 год: среднемноголетние и вероятностные значения средних годовых расходов и слоев стока, максимальные расходы и слои стока весеннего половодья и дождевых паводков, минимальные суточные и 30-суточные расходы зимнего и летнего периодов.

Справочник предназначен для специалистов в области инженерных расчетов гидрологических характеристик, мелиоративной гидрологии, гидротехники и охраны водных ресурсов территории.

УДК 556.5.04
ББК 26.222

Scientific and Applied Reference: The main hydrological characteristics river basins of the Upper Volga River

The reference manual presents the results of calculations of the main hydrological characteristics by 462 gauge stations of the Upper Volga river basin for the period up to 2010: average long-term discharges and probabilistic values of average annual runoff and layers of flow, maximum discharges and layers of spring floods and rain-induced floods, the minimum daily and monthly discharges for winter and summer periods.

The reference manual is intended for specialists in the field of engineering calculations of hydrological characteristics, land reclamation, hydraulic engineering and water resources conservation.

ISBN 978-5-904246-64-8

© ФГБУ «ГГИ», 2015

© Оформление. Издатель Мухаметов Г.В., 2015

Текстовое электронное издание
Научное электронное издание

Систем. требования: ПК 486 или выше; 8 Мб ОЗУ; Windows 95; SVGA; 4x CD-ROM дисковод; мышь.

Создано с использованием Adobe Acrobat. Для чтения необходима программа Adobe Reader или аналогичная. Подписана к использованию 14.10.2015. Объем издания 45Мб. Комплектация - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM), помещен в контейнер 12,5x14 см. Тираж: 50 экз.

Издается в авторской редакции
Издатель Мухаметов Г.В.
w-kniga@yandex.ru, <http://web-kniga.com>

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	11
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	11
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	16
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ ...	17
1.1 Климат	17
1.2 Геология и ландшафты	20
1.3 Растительный покров	29
1.4 Подземные воды	35
2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ ИЗУЧЕННОСТЬ	44
2.1 Гидрографическая сеть	44
2.2 Гидрологическая изученность	53
2.3 Основные гидрографические характеристики водосборов до гидрометрических створов.....	57
3 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	59
3.1 Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений	59
3.2 Однородность и стационарность многолетних рядов гидрологических характеристик	60
3.3 Определение расчетных гидрологических характеристик при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений	61
3.4 Погрешности определения расчетных параметров гидрологических характеристик.....	62
3.5 Технологическое обеспечение инженерных гидрологических расчетов	64
3.6 Методика определения внутригодового распределения стока рек	64
3.7 Методика картирования расчетных параметров основных гидрологических характеристик	67
3.8 Уточнение параметров распределения гидрологических характеристик методом объединения данных наблюдений по группе постов	69
4 ГОДОВОЙ СТОК.....	72
4.1 Характеристика годового стока	72
4.2 Исходные данные	72
4.3 Однородность и стационарность	73
4.4 Расчетные параметры распределения	73
4.5 Карты расчетных параметров	74
5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ....	78
5.1 Факторы формирования внутригодового распределения стока в бассейне Верхней Волги	78
5.2 Характеристика внутригодового распределения стока рек	81
6 СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ	94
6.1 Характеристика весеннего половодья	94
6.2 Исходные данные	95
6.3 Однородность и стационарность	96
6.4 Расчетные параметры распределения	97
6.5 Карты расчетных параметров	98
7. СТОК ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ	102
8 МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК.....	107

8.1 Условия формирования минимального стока	107
8.2 Минимальный летне-осенний сток.....	109
8.2.1 Исходные данные	109
8.2.2 Однородность и стационарность	110
8.2.3 Расчетные параметры распределения	111
8.3 Минимальный зимний сток.....	112
8.3.1 Исходные данные	112
8.3.2 Однородность и стационарность	113
8.3.3 Расчетные параметры распределения	114
8.4 Карты расчетных параметров	115
9. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА ПО СООТНОШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	126

[Перейти к приложениям](#)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.1 Список гидрологических постов

Приложение А.2 Основные гидрографические характеристики водосборов в пунктах гидрологических наблюдений

Приложение А.3 Параметры и расчетные значения среднегодового стока

Приложение А.4 Параметры сезонного стока по изученным рекам бассейна

Приложение А.5 Распределение стока по месяцам и сезонам в пунктах наблюдений (в процентах от годового)

Приложение А.6 Внутригодовое распределение стока методом реального года (в слоях и в процентах от годового)

Приложение А.7 Параметры и расчетные значения максимальных расходов воды весеннего половодья

Приложение А.8 Параметры и расчетные значения слоя стока весеннего половодья

Приложение А.9 Основные характеристики наибольших за многолетний период максимальных расходов дождевых паводков

Приложение А.10 Расчетные значения максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков

Приложение А.11 Параметры и расчетные значения минимальных 30-суточных расходов воды за летне-осенний период

Приложение А.12 Параметры и расчетные значения минимальных суточных расходов воды за летне-осенний период

Приложение А.13 Параметры и расчетные значения минимального 30-суточного расхода воды за зимний период

Приложение А.14 Параметры и расчетные значения минимального суточного расхода воды за зимний период

[Перейти к приложениям](#)

CONTENT

Preface.....	8
Standard references.....	11
Terms and indentifications.....	11
Symbobs and abbreviations.....	16
1. Upper Volga Basin physical-geographical characteristics.....	17
1.1. Climate.....	17
1.2. Geology and landscapes.....	20
1.3. Vegetal coverage.....	29
1.4. Groundwater.....	35
2. General characteristics of the hydrological network and its investigation.....	44
2.1. The hydrographic network.....	44
2.2. The hydrological investigation.....	53
2.3. Main hydrographic characteristics of the basins before the hydrometric ranges.....	57
3. Calculation data hydrological characteristics determination techniques.....	59
3.1. Rated hydrological data determination in the presence of hydrometric observation.....	59
3.2. Homogeneity and stationary basic hydrological characteristics.....	60
3.3. Rated hydrological data determination in a case of series nonhomogeneity of observation.....	61
3.4. Errors in a rated hydrological data determination.....	62
3.5. Technological maintenance of engineering hydrological calculations, based on modern automated system.....	64
3.6. Intra-year river runoff distribution determination techniques.....	64
3.7. Method of mapping of rated data main hydrological characteristics.....	67
3.8. Tuning of a hydrological characteristics distribution parameters by combining method of observation data on gouge stations groups.....	69
4. The annual runoff.....	72
4.1. Characteristics of the annual runoff.....	72
4.2. Initial data.....	72
4.3. Homogeneity and stationary.....	73
4.4. Estimated parameters of the distribution.....	73
4.5. Maps of rated data.....	74
5. Intra-year river runoff distribution of the Upper Volga basin.....	78
5.1. Factors of formation of intra-year runoff distribution in the Upper Volga Basin.....	78
5.2. Intra-year river runoff distribution characteristics.....	81
6. Spring flood runoff.....	93
6.1. Spring flood characteristics.....	93
6.2. Initial data.....	94
6.3. Estimation of the uniformity and stationary.....	95
6.4. Determination of the distribution parameters.....	96
6.5. Maps of rated parameters.....	97
7. Rain floods runoff.....	101
8. Minimum runoff.....	106
8.1. Minimum runoff forming conditions.....	106
8.2. Minimum summer-autumn runoff.....	108
8.2.1. Initial data.....	108
8.2.2. Uniformity and stationary.....	109
8.2.3. Estimated parameters of the distribution.....	110
8.3. Minimum winter runoff.....	111
8.3.1. Initial data.....	111
8.3.2. Uniformity and stationary.....	112
8.3.3. Estimated parameters of the distribution.....	113

8.4. Maps of rated parameters.....	114
9. Regionalization of the Upper Volga Basin area by the ratio of the variation coefficients and maximum spring flood discharge asymmetry, using joint analysis method.....	120
Conclusion.....	122
References.....	124

Appendix A.1. List of hydrological stations

Appendix A.2. Main hydrographic basin characteristics in the hydrological gauge stations

Appendix A.3. Average annual runoff parameters and rated data

Appendix A.4. Seasonal runoff parameters on investigational river basin

Appendix A.5. Runoff distribution on months and seasons (as a percentage of annual) in gauge stations

Appendix A.6. Intra-year runoff distribution by real year method (in layers and in % of annual)

Appendix A.7. Parameters and estimated values of maximum water discharges of spring flood

Appendix A.8 Parameters and estimated values of the spring flood

Runoff layer

Appendix A.9 Main characteristics of the largest maximum discharges of rain floods for long-year period

Appendix A.10 Estimated values of the maximum discharges and layers of rainwater flooding

Appendix A.11 Parameters and estimated values of the minimum 30- day water discharge for the summer-autumn period

Appendix A.12 Parameters and estimated values of the minimum daily water discharges during the open channel period

Appendix A.13 Parameters and estimated values of the minimum 30-day water discharge for the winter period

Appendix A.14 Parameters and estimated values of the minimum daily water discharge for the winter period

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с «Водной стратегией Российской Федерации на период до 2020 года» [126] одной из важнейших научно-прикладных задач является обобщение по территории Российской Федерации гидрологических материалов в виде справочных изданий и актуализированных карт расчетных гидрологических характеристик водных объектов. Актуальность задачи обусловлена тем, что последние обобщения гидрологических характеристик для территории СССР/России были выполнены более 40 лет назад при подготовке монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» [2] и в «Пособии по определению основных расчетных гидрологических характеристик» [3], включающих Атлас карт, обобщающих материал по основным гидрологическим характеристикам на основе данных наблюдений до 1975 года. Использование результатов расчетов основных гидрологических характеристик и выполненных обобщений, представленных в этих монографиях, в настоящее время не представляется возможным, поскольку они не учитывают данных гидрометрических наблюдений за последние десятилетия. Именно в этот период в бассейне Волги произошли климатические изменения, оказавшие значительное влияние на внутригодовое распределение стока, формирование максимальных и минимальных расходов воды.

Научно-прикладной справочник подготовлен в рамках выполнения Государственного контракта «Обобщение по территории Российской Федерации данных гидрологического мониторинга в виде справочных изданий и актуализированных карт расчетных гидрологических характеристик рек бассейнов Верхней Волги, Камы и Нижней Волги». Контракт был заключен между ФГБУ «Государственный гидрологический институт» и ФГБУ «Информационно-аналитический центр развития водохозяйственного комплекса» за счет средств федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах».

Справочник подготовлен в ФГБУ «Государственный гидрологический институт» при участии ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Географического факультета ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», ФГБУН «Институт географии Российской академии наук».

Научное руководство подготовкой справочника и его редактирование осуществлял д.г.н. Георгиевский В. Ю.

В составлении отдельных разделов научно-прикладного справочника принимали участие:

глава 1 «Физико-географические характеристики бассейна Верхней Волги», раздел 1.1 – к.г.н. Суркова Г. В. (МГУ); раздел 1.2 – к.г.н. Панин А. В., к.г.н. Горбунова И. А. (МГУ), к.г.н. Георгиади А. Г., д.г.н. Коронкевич Н. И. (ИГ РАН); раздел 1.3 – д.г.н. Огуреева Г. Н. (МГУ), д.г.н.

Коронкевич Н. И., к.г.н. Георгиади А. Г. (ИГ РАН); раздел 1.4 – д.г.-мн.н. Зекцер И. С. (ИВП РАН), комплект карт - к.г.н. Агафонова С. А. (МГУ);

глава 2 «Общая характеристика гидрологической сети и ее изученность», раздел 2.1 – д.г.н. Алексеевский Н. И., к.г.н. Косицкий А. Г. (МГУ); раздел 2.2 – вед. инж.-программист Молчанова Т. Г., вед. инженер Грек Е. А. (ГГИ); раздел 2.3 – к.г.н. Журавлев С. А., вед. инженер Сазонова Д. Г., вед. инженер Бузмаков С. В., инж.-программист Журавлева А. Д. (ГГИ);

глава 3 «Методика определения расчетных параметров гидрологических характеристик», разделы 3.1–3.5 – к.т.н. Лобанова А. Г. (ГГИ); раздел 3.6 – вед. инж.-программист Молчанова Т. Г.(ГГИ); раздел 3.7 – к.г.н. Журавлев С. А. (ГГИ); раздел 3.8 – д.т.н. Болгов М. В., Осипова Н. В. (ИВП РАН);

глава 4 «Годовой сток» – к.г.н. Лобанова А. Г., вед. инженер Шалашина Т. Л. (ГГИ);

глава 5 «Внутригодовое распределение стока», раздел 5.1 – д.г.н. Алексеевский Н. И., к.г.н. Повалишников Е. С., д.г.н. Фролова Н. Л. (МГУ); раздел 5.2 – д.г.н. Фролова Н. Л., к.г.н. Киреева М. Б. (МГУ), вед. инж.-программист Молчанова Т. Г. , вед. инженер Кузнецова О. М. (ГГИ), комплект карт – к.г.н. Агафонова С. А. (МГУ);

глава 6 «Сток весеннего половодья» – вед. инженер Грек Е. А. (ГГИ);

глава 7 «Сток дождевых паводков» – к.г.н. Василенко Н. Г., к.г.н. Банщикова Л. С., вед. инженер Шаромова Т. А. (ГГИ);

глава 8 «Минимальный сток» – к.г.н. Марков М. Л., к.г.н. Гуревич Е. В., вед. инженер Георгиевский Д. В. (ГГИ);

глава 9 «Районирование территории Верхневолжского бассейна по соотношению коэффициентов вариации и асимметрии максимальных расходов воды весеннего половодья» – д.т.н. Болгов М. В., Осипова Н. В. (ИВП РАН).

Работы по критическому анализу и подготовке исходной информации по характеристикам речного стока от начала наблюдений до 2010 г. включительно (средние месячные данные за все годы наблюдений, средние годовые, максимальные расходы и слои стока весеннего половодья, максимальные расходы дождевых паводков, минимальные суточные и 30-суточные расходы за зимний и летний периоды), подготовке программного сопровождения для создания архивов исходной информации и расчетов максимальных слоев стока весеннего половодья, 30-суточных минимальных летних и зимних расходов за период 1981–2010 гг. выполнены сотрудниками ВНИИГМИ-МЦД: д.т.н. Копыловым В. Н., к.ф.-м.н. Ковалевым Н. П., зав. лабораторией Шевченко А. И., н.с. Готовченковой И. Л., к.т.н. Яковенко Л. И., программистом Бехтяновой И. В., программистом Андреевым А. Г., н.с. Дегтяренко Т. И., зав. сектором Атапиной Н. М.

Карты, представленные в разделах 1 и 5, построены к.г.н. Агафоновой С. А. (МГУ), в разделах 2, 4–8 – к.г.н. Журавлевым С. А., вед. инженером Сазоновой Д. Г., вед. инженером Бузмаковым С. В., вед. инженером-программистом Журавлевой А. Д. (ГГИ).

В основу помещенных в справочнике материалов, анализа, расчетов и обобщений положены данные наблюдений по 462 постам Государственной гидрологической сети Росгидромета за весь период наблюдений по 2010 г. включительно.

В работе использованы современные методы гидрологических расчетов, реализующих требования официальных нормативных документов [4] и методических рекомендаций [5–8]. Расчеты выполнены с применением сертифицированного программного комплекса HydroStatCalc, разработанного в Государственном гидрологическом институте [9].

Представленные в научно-прикладном справочнике материалы предназначены для широкого применения при проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных объектов, в том числе предназначенных для обеспечения защиты социально-экономических объектов от негативного воздействия вод.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 19179-73	Гидрология суши. Термины и определения
ГОСТ 28441-99	Картография цифровая. Термины и определения
ГОСТ 7.32-2001	Отчет о научно-исследовательской работе
ГОСТ Р 50828-95	Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования
СНиП 11-02-96	Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
СП 11-103-97	Инженерные гидрометеорологические изыскания для строительства
СП 33-101-2003	Определение основных расчетных гидрологических характеристик

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Автокорреляция – корреляция ряда величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени или расстояния.

Азональность гидрологических явлений – особенности режима поверхностных и подземных вод, отклоняющихся от общих закономерностей зонального (широтного и вертикального) распределения гидрологических характеристик.

Антропогенная (техногенная) нагрузка – мера прямого и косвенного воздействия человека и народного хозяйства на природу в целом или на ее отдельные компоненты (ландшафты, почвы и др.).

Антропогенные факторы – факторы, обусловленные хозяйственной деятельностью человека и влияющие на природную среду.

Внутригодовое распределение стока – распределение стока по частям года (сезонам, месяцам, декадам); обычно выражается в долях или процентах от величины годового стока.

Водность – относительная характеристика стока за определенный интервал времени по сравнению с его средней многолетней величиной или величиной стока за другой период того же года.

Водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы.

Водный кадастр – систематизированный свод сведений о качественных и количественных характеристиках водных объектов за каждый год и за многолетний период.

Водный режим – изменение во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах.

Водозаборное сооружение – гидротехническое сооружение, предназначенное для забора воды.

Водохозяйственная деятельность – деятельность граждан и юридических лиц, связанная с использованием, восстановлением и охраной водных объектов.

Водохозяйственный год – расчетный годичный период времени, начинающийся с самого многоводного периода.

Географическое положение бассейна – положение бассейна на поверхности Земли, выраженное совокупностью географических координат (широта и долгота), в пределах которых он располагается.

Гидрографическая длина реки – длина реки от наиболее удаленного истока.

Гидрографическая сеть поверхности суши – система постоянно и временно действующих водотоков и озер.

Гидрологическая изученность – сведения о количестве и размерах рек, их стационарной и экспедиционной изученности, о гидрологических станциях и постах.

Гидрологические данные – сведения о гидрологических явлениях, элементах и характеристиках.

Гидрологические карты – карты, отображающие распределение по территории гидрологических характеристик и параметров расчетных схем и формул.

Гидрологические наблюдения – систематические и эпизодические наблюдения (измерения) за гидрологическими характеристиками и элементами водного режима.

Гидрологические расчеты – раздел инженерной гидрологии, в задачи которого входит разработка методов, позволяющих рассчитать значения различных характеристик гидрологического режима на период эксплуатации гидротехнических сооружений при проектировании, строительстве, эксплуатации, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений и других объектов.

Гидрологические характеристики – количественные оценки элементов гидрологического режима.

Гидрографические характеристики – совокупность морфометрических и морфологических характеристик водных объектов и их водосборов, дающих достаточно полное представление о характере, форме, размерах, протяженности водных объектов и некоторых физико-географических особенностях их водосборов.

Государственный мониторинг водных объектов – система регулярных наблюдений за гидрологическими или гидрогеологическими и гидрогеохимическими показателями их состояния, обеспечивающая сбор, передачу, обработку и обобщение полученной информации в целях своевременного выявления негативных процессов, прогнозирования их развития, предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности осуществляемых водоохранных мероприятий.

Доверительные пределы – численные величины, дающие границы доверительного интервала по обе стороны соответствующей кривой.

Доверительный интервал – область допустимых значений, вероятность попадания в которую при принятии гипотезы однородности равна уровню значимости.

Дождевой сток – сток, возникший в результате выпадения дождей.

Естественный сток – сток в реке при естественных условиях.

Истощение вод – устойчивое сокращение запасов и ухудшение качества поверхностных и подземных вод.

Квазистационарность – стационарность гидрологических рядов, имеющих ограниченный период наблюдений во времени.

Климатические (метеорологические) условия – факторы, определяющие водный режим водоема.

Комплексное использование водных ресурсов – использование водных ресурсов для удовлетворения потребностей ряда отраслей народного хозяйства, являющихся как водопользователями, так и водопотребителями, с учетом перспективы развития этих отраслей.

Коэффициент асимметрии – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности рассматриваемой случайной величины относительно его среднего значения.

Коэффициент вариации – безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость случайной величины, представляющий собой отношение среднего квадратического отклонения к его среднему значению.

Коэффициент корреляции – мера линейной взаимосвязи двух случайных величин.

Коэффициент лесистости – площадь леса на водосборе, выраженная в относительных величинах от всей площади водосбора.

Коэффициент множественной корреляции – мера линейной взаимосвязи более чем двух случайных переменных.

Коэффициент озерности – площадь зеркала озер и других водоемов, выраженная в относительных величинах от всей площади водосбора.

Коэффициент стока – отношение величины (объема или слоя) стока к количеству выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение стока.

Кривая распределения вероятностей – графическое или аналитическое выражение функции, характеризующей вероятность появления того или иного значения рассматриваемого ряда случайной величины.

Лимитирующий период – часть водохозяйственного года, неблагоприятная для осуществления проектируемых мероприятий либо по водопотреблению и водопользованию, либо по борьбе с наводнениями и осушению болот.

Максимальный сток – речной сток, наблюдавшийся в половодье или паводки.

Методы гидрологических расчетов – технические приемы, позволяющие рассчитать, обычно с оценкой вероятности их появления (превышения), значения характеристик гидрологического режима.

Модуль стока – количество воды, стекающей с единицы площади.

Морфометрические характеристики речного бассейна – основными показателями являются длина реки и площадь водосбора.

Нестационарный процесс – процесс распределения вероятностей, характер которого изменяется во времени.

Норма гидрологических характеристик – среднее арифметическое значение характеристик гидрологического режима за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное среднее значение существенно не меняется.

Нормальное распределение – симметричное распределение, теоретически представляющее распределение случайных ошибок около их среднего значения.

Объем стока – количество воды, протекающее через рассматриваемый створ водотока за какой либо период времени.

Основные гидрологические характеристики: средний годовой сток, внутригодовое распределение стока, максимальные расходы воды, слои стока весеннего половодья и дождевых паводков, гидрографы стока, минимальные расходы воды летней и зимней межени (срочные, 30-суточные и за календарный месяц).

Паводочная волна – увеличение речного стока до максимума и его последующее снижение, происходящее в результате выпадения осадков, снеготаяния, прорыва плотины или сбросов воды гидроэлектростанциями.

Плотина – водоподпорное сооружение, перегораживающее водоток и (иногда) долину водотока для подъема уровня воды.

Подпор воды – повышение уровня воды из-за наличия в русле реки препятствия для ее движения.

Подстилающая поверхность – разнообразные компоненты земной поверхности, взаимодействующие с атмосферой и влияющие на ее состояние.

Половодье – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды и вызываемая дождями или снеготаянием во время оттепелей.

Растительный покров бассейна – сведения об основных видах растительности, распространенной в пределах водосбора, размеры занимаемых ими площадей.

Расчетная гидрологическая характеристика – статистическая оценка гидрологических характеристик, которая используется при строительном проектировании.

Расчетная обеспеченность – обеспеченность гидрологической характеристики, принимаемая при строительном проектировании для установления значения параметров гидрологического режима, определяющих проектные решения.

Регулирование стока – перераспределение во времени объема жидкого стока в соответствии с требованиями водопользования, а также в целях борьбы с наводнениями.

Режим рек – ход многолетних, сезонных и суточных изменений речного потока в его русле.

Рельеф – фактор поверхности водосбора, определяющий характер выпадения и распределения осадков по территории водосбора, условия протекания воды по земной поверхности.

Речной сток – сток, проходящий по речной сети.

Свободное состояние русла – состояние русла, характеризующееся отсутствием препятствий (ледяных образований, водной растительности, сплавного леса и т. д.), которые влияют на зависимость между расходами и уровнями воды, а также отсутствием подпора.

Стационарность – однородность выборочных параметров и функций распределения во времени.

Стохастическая гидрология – гидрологические процессы и явления, которые описываются и анализируются при помощи методов теории вероятностей и математической статистики.

Тренд – однонаправленное, монотонное изменение расчетной или наблюдаемой величины.

Уровень значимости – достаточно малое значение вероятности, которое характеризует практически невозможное событие.

Физико-географические характеристики бассейна – географическое положение, климат, геологическое строение, почва, растительность и рельеф.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГОСТ	- Государственный общесоюзный стандарт
ЕТР	- европейская территория России
ИВП РАН	- Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН
ИГ РАН	- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»
МГУ	- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»
НПУ	- нормальный подпорный уровень
ОГХ	- основные гидрологические характеристики
Росгидромет	- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
СНиП	- строительные нормы и правила
СП	- свод правил по определению расчетных гидрологических характеристик
ФГБУ	- федеральное государственное бюджетное учреждение
г.	- город
д.	- деревня
пгт	- поселок городского типа
р.	- река
р. п.	- расчетный период
рзд.	- разъезд
руч.	- ручей
с.	- село
свх.	- совхоз
ст.	- станция
х.	- хутор
Q	- расходы воды, м ³ /с
R	- коэффициент автокорреляции
M	- модуль стока, л/сек км ²
H	- слой стока, мм
Cv	- коэффициент вариации
Cs	- коэффициент асимметрии
Cs/Cv	- соотношение коэффициента асимметрии и коэффициент вариации
F	- площадь водосбора, км ²

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Бассейн Верхней Волги расположен в центре Восточно-Европейской равнины. В пределах бассейна полностью или частично находится территория 25 субъектов Российской Федерации и столица России – г. Москва (рисунок 1.1).

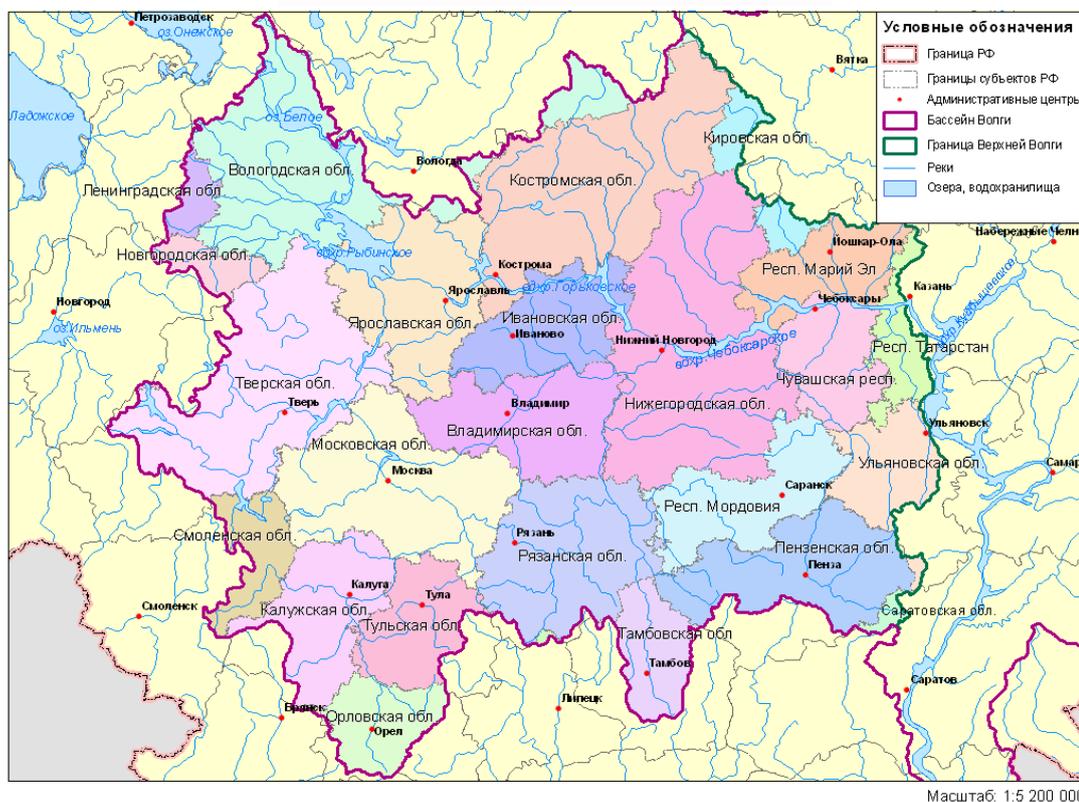


Рисунок 1.1 – Административно-территориальное деление Верхней Волги

1.1 Климат

Район Верхней Волги относится к атлантико-континентальной европейской области умеренного пояса с умеренно-теплым летом, продолжительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом. Континентальность климата увеличивается с запада на восток. В течение года в районе преобладает влияние умеренных морских и континентальных воздушных масс. Важным фактором формирования климата является регулярная адвекция арктического и тропического воздуха. Изменчивость атмосферной циркуляции создает большую неустойчивость режима увлажнения и температуры.

Радиационный баланс на территории имеет широтное распределение, средние многолетние его значения изменяются в пределах 1500–1200 МДж/(м² год), убывая с юга на север. Наименьшие значения радиационного баланса чаще всего отмечаются в январе (–20–35 МДж/(м² мес.). С марта по октябрь баланс положителен; достигает максимума в июне (300–350 МДж/(м² мес.).

Существенные различия радиационного баланса по территории связаны с зональными условиями и особенностями подстилающей поверхности.

Средняя годовая температура воздуха в пределах Верхневолжского бассейна уменьшается с юго-запада на северо-восток и составляет 3,0–4,5 °С. Годовая амплитуда (разность между средней месячной температурой самого теплого и холодного месяцев) составляет 26–33 °С, возрастая к востоку.

В холодный период (ноябрь – март) распределение температуры воздуха существенно отличается от широтного вследствие увеличения континентальности климата с запада на восток. Сезонные температуры воздуха приведены в таблице 1.1. Средние температуры самого холодного месяца (января) составляют –9–15 °С. Они понижаются к северо-востоку. Зимние оттепели возможны в любой месяц. Они сопровождаются повышением температуры воздуха до 3–5 °С, которое может продолжаться до 10–20 суток. Средняя зимняя температура в бассейне Верхней Волги составляет –8,5 °С.

Глубина промерзания грунта в бассейне Верхней Волги в среднем для суглинков составляет 1,2–1,5 м, для песка 1,6–1,9 м, для крупнообломочного грунта 1,8–2,0 м. Эти предельно большие значения соответствуют высокому расположению зеркала грунтовых вод, сильным морозам, отсутствию снежного покрова. Фактическая глубина промерзания значительно меньше расчетных величин и обычно не превышает 1 м. От года к году она может меняться от 0,1 м и менее до 1,1 м и более.

Переход средней суточной температуры воздуха через 0 °С в среднем происходит на юго-западе территории в первой декаде апреля, на северо-востоке – на 7–10 дней позднее. В теплый период года распределение температур воздуха в большей степени соответствует географической широте местности. Средняя температура самого теплого месяца (июль) составляет 16–20 °С, убывая с юга на север. В зависимости от месяца года максимальные температуры воздуха колеблются от 3 до 37 °С. Средняя температура воздуха за летний сезон в бассейнах Верхней Волги и Камы составляет около +17 °С.

Таблица 1.1 – Средние региональные значения температуры воздуха и осадков в бассейне Верхней Волги (мм/мес.)

Зима	Весна	Лето	Осень
температура, °С			
1,0	5,0	17,2	–8,4
осадки, мм/мес.			
54	37	73	39

В среднем годовом режиме направлений ветра преобладают южная и западная составляющие. Вследствие выраженной разницы зимней и летней циркуляции соотношение преобладающих направлений изменяется от сезона к сезону года. Средние месячные скорости ветра заметно больше в холодное время года (3–5 м/с). На открытых пространствах скорость ветра примерно на 0,5 м/с больше по сравнению с другими ландшафтами. Средняя максимальная скорость ветра на большей части территории составляет 20–25 м/с. При порывах она может возрастать до 40 м/с и больше. Суточный ход изменения скорости ветра лучше выражен в теплое время года. Он проявляется в увеличении скорости ветра в дневные часы.

Суммарное годовое испарение в западном секторе бассейна Верхней Волги максимально (525–550 мм) по сравнению с другими районами бассейна (рисунок 1.2). К востоку величина испарения резко сокращается и в бассейне Ветлуги достигает 475 мм и менее. В северной, южной и юго-восточной части региона годовые суммы испарения приближаются к 500 мм.

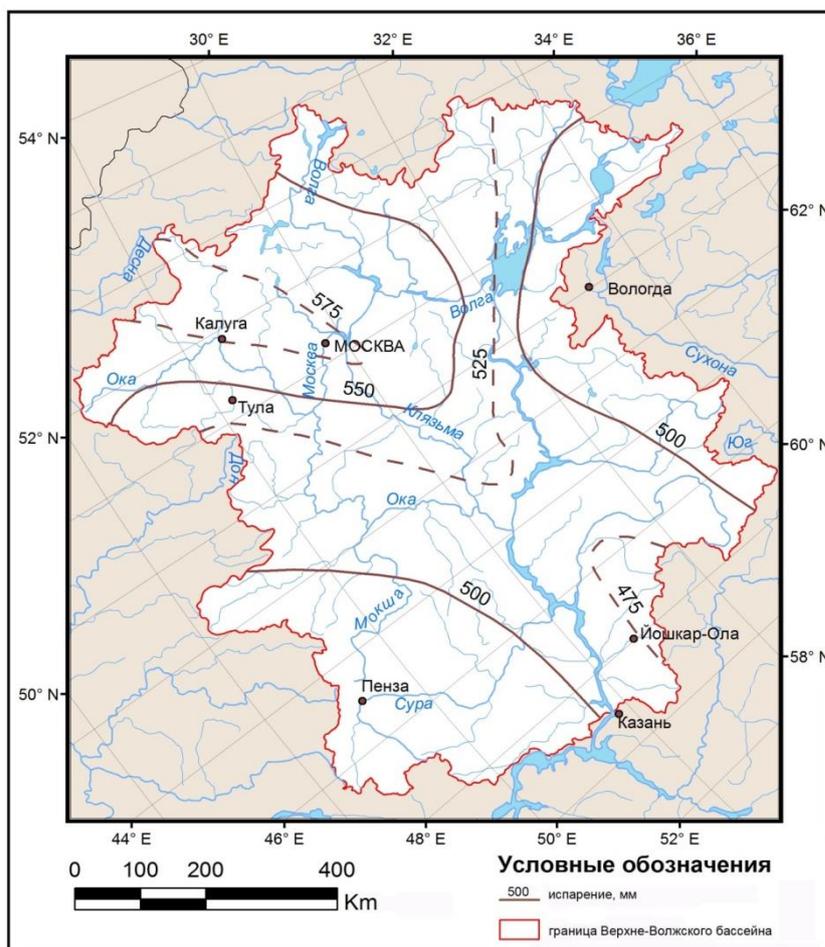


Рисунок 1.2 – Распределение средней интенсивности испарения в бассейне Верхней Волги, мм/год

Бассейн Верхней Волги относится к зоне достаточного увлажнения – количество осадков превышает испарение. В отдельные засушливые годы на юго-востоке региона это соотношение может меняться. На западных склонах водосборов и на возвышенных участках Валдайской,

Среднерусской, Смоленско-Московской возвышенностей количество осадков возрастает. Средняя многолетняя годовая сумма осадков и сумма за теплый период убывает с северо-запада на юго-восток (рисунки 1.3–1.4). Режим осадков в основном определяется циклонической деятельностью. Летом заметный вклад в изменение количества осадков и интенсивности их выпадения вносят внутримассовый характер погоды и активизация атмосферных фронтов, определяющих выпадение конвективных осадков. В зимний и летний период интенсивность осадков заметно возрастает (таблица 1.1).

Межгодовая изменчивость средних годовых сумм осадков составляет 15–20 %. Среднее максимальное суточное количество осадков в году формируется обильными дождями в летние месяцы и может достигать 30–35 мм. Среднее суточное количество осадков в среднем за год составляет 3–4 мм. Жидкие осадки составляют 65–75, твердые – 15–25, смешанные – 10–15 % общего количества осадков за год. Сумма осадков за холодный период года на 26 % меньше, чем за теплый период.

Наибольшее количество осадков (70–90 мм и более) приходится на июль. Среднее максимальное суточное количество осадков составляет 20–30 мм и более. Наименьшая продолжительность осадков характерна для мая – августа.

Снежный покров в Верхневолжском бассейне появляется в основном в последней декаде октября – первой декаде ноября. Устойчивый снежный покров образуется к концу ноября, а разрушается в первой – второй декаде апреля. Высота снежного покрова достигает наибольших значений к концу февраля – началу марта; колеблется от 160 мм и более (на северо-востоке) до 80 мм и менее на юго-западе региона. В это время (рисунок 1.5) запас воды в снежном покрове может превышать 200 мм.

Окончательный сход снежного покрова в среднем происходит на 4–10 дней позже по сравнению со средними датами. Продолжительность залегания снежного покрова уменьшается с 170 дней (северо-восток) до 140 дней (юго-запад бассейна). В регионе велика вероятность стаивания, проседания и уплотнения снега во время оттепелей. Плотность снежного покрова по территории меняется незначительно и составляет 230–290 кг/м³.

1.2 Геология и ландшафты

Бассейн Верхней Волги характеризуется равнинным рельефом с максимальными абсолютными высотами 300–330 м. Он сложен осадочными породами, отличающимися по генезису и физико-химическим свойствам. На значительных площадях осадочные породы перекрыты покровом лессовидных отложений мощностью до нескольких метров.

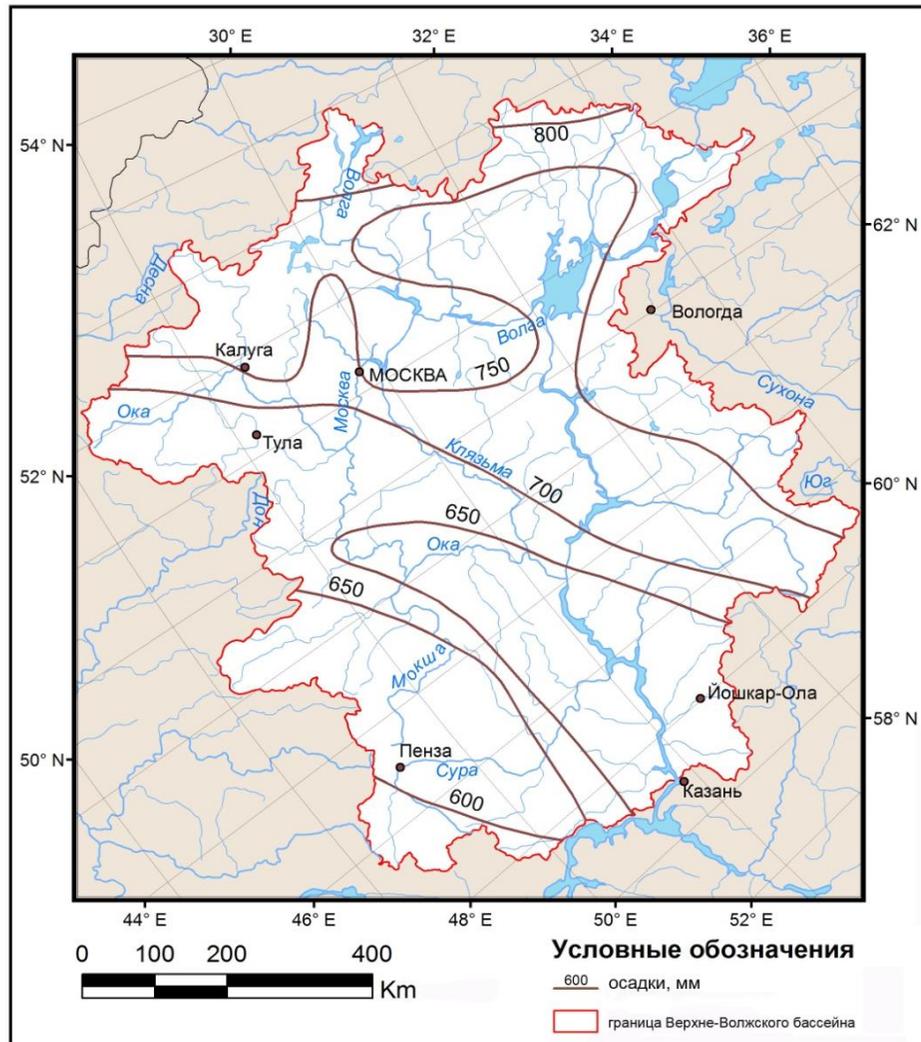


Рисунок 1.3 – Среднее годовое количество осадков, мм

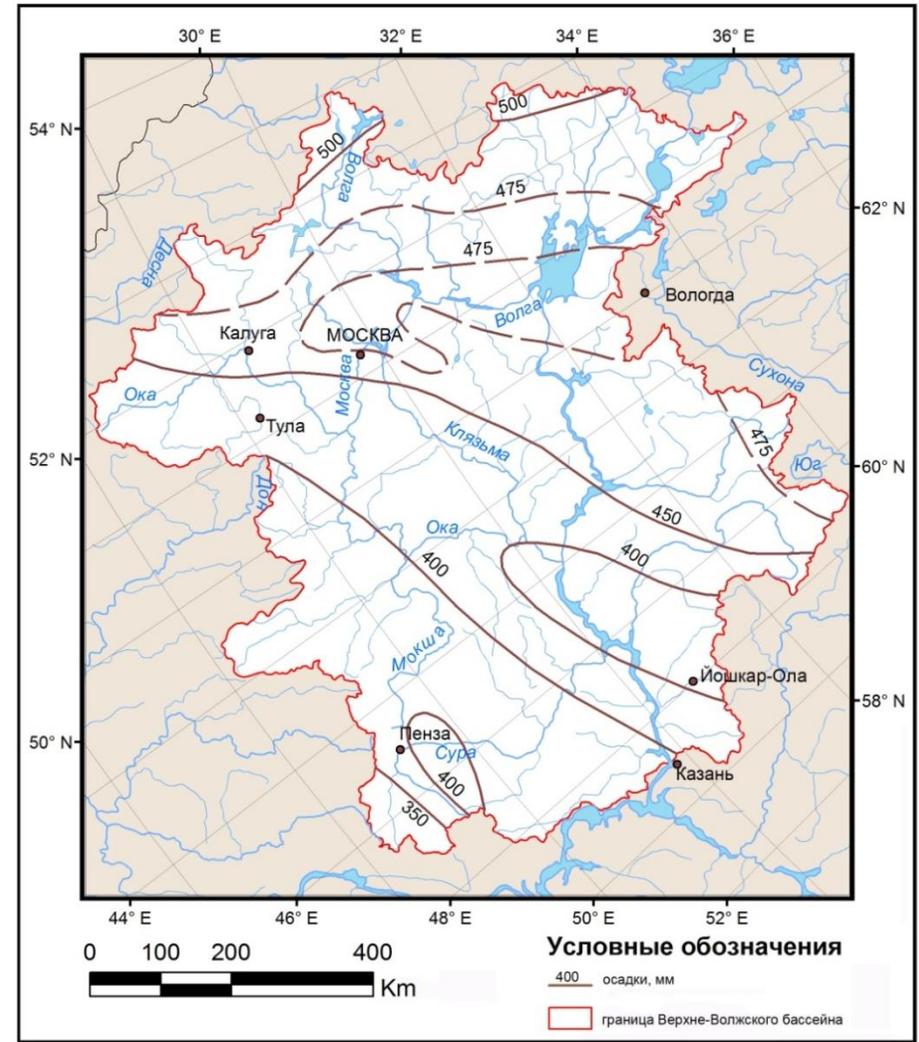


Рисунок 1.4 – Количество осадков за теплый период (апрель – октябрь)

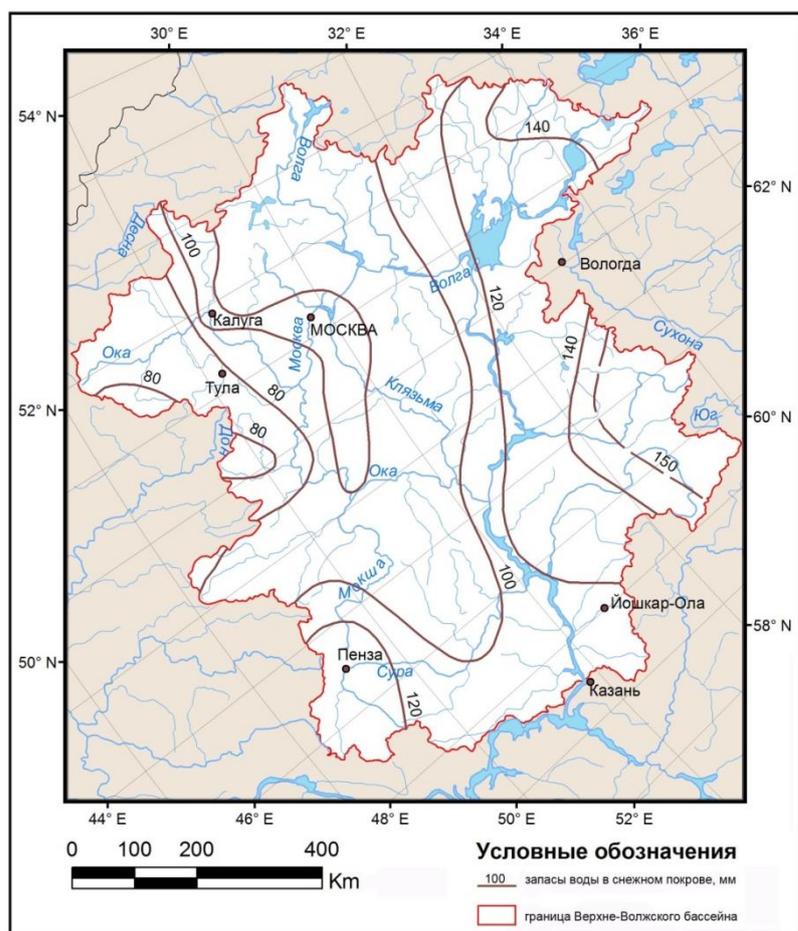


Рисунок 1.5 – Распределение средней величины (из наибольших) запасов воды в снеге, мм

Почвы бассейна довольно достаточно плотные [10]. Объемная плотность варьирует от 1,24 до 1,62 г/см³. Для более 50 % общей территории бассейна, которая занята дерново-подзолистыми почвами, она равна 1,49 г/см³, для серых лесных почв – 1,36 г/см³ (7 % территории), а для черноземов – 1,25 г/см³ (6 % территории бассейна) (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Распространенность почв с различным механическим составом

Механический состав почв	Доля площади бассейна, %
Глинистые и тяжелосуглинистые	23,6
Среднесуглинистые	17,0
Среднесуглинистые валунные и галечниковые	4,6
Легкосуглинистые	9,6
Легкосуглинистые валунные и галечниковые	2,1
Песчаные	16,6
Песчаные и супесчаные	6,9

Подзолистые почвы распространены в основном в северотаежной зоне под пологом хвойных и хвойно-мелколиственных пород деревьев, но встречаются и в зоне дерново-подзолистых почв. Для них характерно наличие опесчаненного подзолистого (А2) и структурного оглиненного горизонта (ВТ). Повышенная влагоемкость суглинистых и глинистых почвообразующих пород, их

относительно слабая водопроницаемость определяют медленную фильтрацию почвенных растворов, небольшие инфильтрационные потери поверхностного стока. Верхние горизонты подзолистых почв отличаются сильнокислой реакцией среды ($pH = 3,5 - 4,5$), высокой обменной и гидролитической кислотностью. Кислая реакция среды уменьшается вниз по профилю. Подзолистые почвы малогумусны. Они содержат до 2–4 % гумуса, в составе которого преобладают фульвокислоты. Наличие плотного водоупорного горизонта (ВТ) и подстилки или моховой подушки, обладающих значительной водоудерживающей способностью, приводят к периодическому оглеению верхних почвенных горизонтов. Периодически существующие восстановительные условия обуславливают подвижность органо-железистых и других металлоорганических соединений, которые переходят в растворимые формы, мигрируя в системах склоновых потоков и вниз по профилю почв. Высокая устойчивость этих соединений обеспечивает их попадание в поверхностные и грунтовые воды из почвенных растворов [11]. Пылеватый гранулометрический состав способствует развитию эрозионных процессов.

Подзолистые, дерново-подзолистые контактно-элювиальные (контактно-осветленные) почвы формируются в зонах сочленения тяжелых суглинистых и глинистых отложений песчано-супесчаного состава. Эти породы распространены в среднетаежной и южнотаежной зоне региона [12]. В зависимости от глубины расположения пород тяжелого механического состава почвы могут быть заболочены под влиянием поверхностных и (или) грунтовых вод. Профиль двучленных почв резко дифференцирован по гранулометрическому составу, плотности, порозности и водопроницаемости. Вертикальная водопроницаемость верхних супесчаных слоев этих почв в 20–100 раз больше водопроницаемости моренных суглинистых горизонтов [13]. Вследствие резкого различия водопроницаемости на контакте супеси и суглинка создаются благоприятные условия для образования верховодки. На контакте двух сред в весеннее время (и в годы избыточного увлажнения в летний период) возникает застой влаги, создаются восстановительные условия, в которых происходит мобилизация и частичный вынос ионов железа. Степень распаханности почв не превышает 10 %.

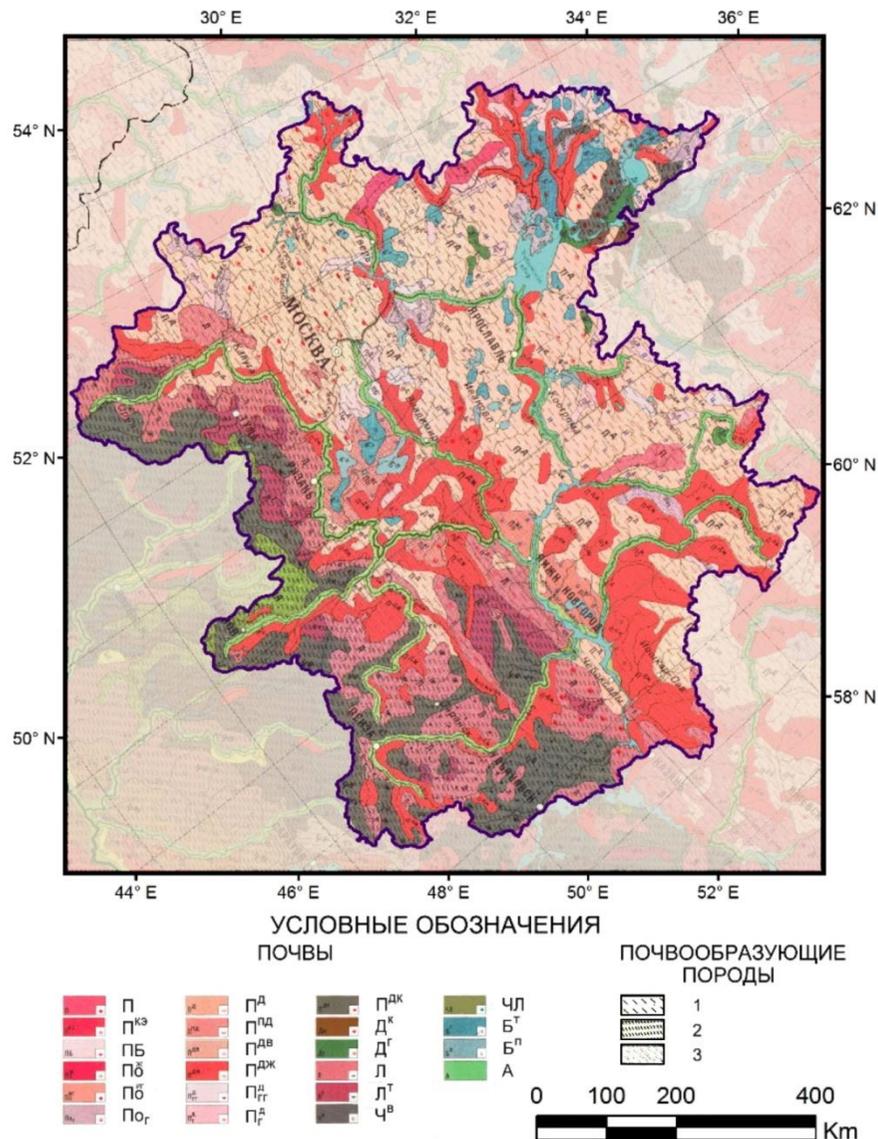
В иллювиально-гумусовых подзолах наличие мощного иллювиально-гумусового горизонта над уровнем грунтовых вод способствует заболачиванию плоских водоразделов речных бассейнов. Содержание гумуса в иллювиально-гумусовом горизонте почв не превышает 2 %, а на богатых основаниями породах – достигает 5–8 %. В данном горизонте накапливаются глиноземно-гумусовые соединения, а органо-железистые соединения поступают в грунтовые воды и реки. Иллювиально-железистые подзолы формируются на «сухих» песчаных холмах, иллювиально-гумусовые – на пологоволнистых равнинах. Иллювиально-гумусовые почвы часто расположены по периферии болот.

Дерново-подзолистые почвы – наиболее распространенные почвы региона и занимают всю центральную его часть (рисунок 1.6). Они формируются под пологом смешанных лесов с травянистым и травянисто-моховым покровом, на суходольных лугах, где дерновый процесс может сменять подзолистый вследствие вырубki леса и появления луговой растительности, а также под пашней, сенокосом, выгоном. Почвообразующими породами являются четвертичные отложения: моренные и покровные суглинки, древнеаллювиальные, флювиогляциальные, реже моренные пески и супеси, двучленные отложения.

Для дерново-подзолистых почв характерно наличие гумусово-элювиального горизонта. Ниже по профилю расположен подзолистый горизонт. Дерново-подзолистые почвы характеризуются малой мощностью дернового горизонта, обедненностью верхней части профиля (горизонты A1 и A2) полуторными оксидами (Al_2O_3 и Fe_2O_3). Они относительно обогащены кремнеземом, отличаются уплотненностью иллювиального горизонта, кислой и сильнокислой реакцией (рН солевой вытяжки равна 3,3–5,5). Кислотность почв уменьшается от верхних горизонтов к коренной породе. В состав поглощенных катионов входит Ca, Mg, H и Al. На долю H и Al приходится значительная часть этого состава. Поэтому насыщенность основаниями верхних слоев почвы редко превышает 50 %. Обменные основания представлены в основном кальцием, в меньшей мере – магнием. Эти почвы бедны азотом и фосфором. По сравнению с подзолистыми почвами верхний слой богаче гумусом, обладает большей влагоемкостью, нередко хорошо выраженной структурой. Дерново-подзолистые почвы различаются по степени оподзоленности и оглеения. Они образуют сочетания с болотно-подзолистыми и (в меньшей степени) с болотными почвами.

Эти почвы более плодородны по сравнению с подзолистыми почвами, издавна используются местным населением. В настоящее время распахано 30–50 % их площади. В районах расположения городов и промышленных центров распаханность достигает 70–80 %. Длительное использование почв ухудшило структуру почвенных горизонтов, что способствует ослаблению процессов оподзоливания и оглеения. На пахотных территориях возрастает интенсивность смыва почв.

На юге региона, на Среднерусской возвышенности распространены серые почвы в сочетаниях с лесостепными черноземами (выщелоченными и оподзоленными). Зона серых лесных почв имеет широтное простираие (рисунок 1.6). Узкая зона почв разрывается «внедрением» дерново-подзолистых почв с севера и черноземов с юга. Серые лесные почвы разделяются на три подтипа [16]. На территории Верхневолжского бассейна наиболее распространены подтипы серых лесных и темно-серых лесных почв. Серые лесные почвы лесостепи сочетают черты дерново-подзолистых почв и черноземов. Они формируются на покровных, лессовидных или делювиальных суглинках. Зональное уменьшение коэффициента увлажнения определяет существование периодически промывного водного режима этих почв. Для всех горизонтов серых



Легенда к карте на рисунке 1.6

Символ на рисунке 1.6	Типы почв (в скобках типы почв по классификации [14])
П	Подзолистые
П ^{кз}	Подзолистые контактно-элювиальные (контактно-осветленные)
Пб	Подзолисто- и торфяно-подзолисто-глеевые
По ^ж	Подзолы иллювиально-железистые
По ^г	Подзолы иллювиально-гумусовые
По ^г	Подзолы торфянисто-глеевые (подзолы глеевые, в том числе торфяные)
П ^д	Дерново-подзолистые
П ^{пд}	Дерново-палево-подзолистые
П ^{дв}	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом
П ^{дж}	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые (дерново-подзолы)
П ^{дг}	Дерново-подзолистые глубинноглееватые (глубокооглеенные)
П ^{дг}	Дерново-подзолистые глеевые
П ^{дк}	Дерново-подзолистые и подзолистые остаточно-карбонатные
Дк	Дерново-карбонатные (рендзины)
Дг	Дерново-глеевые (гумусово-глеевые)
Л	Серые лесные (серые)
Л ^т	Темно-серые лесные (темно-серые)
Ч ^в	Черноземы выщелоченные и оподзоленные (глинисто-иллювиальные)
Чл	Лугово-черноземные (черноземы глинисто-иллювиальные глеевые)
Б ^т	Болотные торфяные и торфяно-глеевые (торфяные олиготрофные)
Б ^п	Болотные перегнойно-торфянисто-глеевые (торфяные эутрофные и перегнойно-глеевые)
А	Аллювиальные
ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ	
1	Суглинистые и глинистые
2	Суглинистые и глинистые карбонатные
3	Песчаные и супесчаные

Рисунок 1.6 – Почвенная карта Верхневолжского бассейна

лесных почв характерна высокая структурность. Строение профиля серых лесных почв отражает сочетание элювиально-иллювиальной дифференциации и активного гумусонакопления. Гумусовый горизонт имеет мощность 30–40 см. В профиле почв выделяется также темно-бурый иллювиальный горизонт. Миграция гуматов кальция по почвенному профилю сопровождается их накоплением в нижних горизонтах серых лесных почв. Содержание гумуса в серых лесных почвах составляет 5–10 %. В составе гумуса много гуминовых кислот, которые образуют слаборастворимые или нерастворимые соединения с катионами тяжелых металлов, что объясняет обогащение почв микроэлементами. Реакция среды слабокислая (в верхней части профиля), нейтральная или слабощелочная (в нижней части профиля). Серые почвы (и черноземы) почти полностью распаханы. Это усиливает развитие плоскостной эрозии, смыв почвенного покрова.

Черноземы занимают крайне южное положение в Верхневолжском бассейне (рисунок 1.6). Доминируют черноземы выщелоченные и оподзоленные, встречаются и луговые черноземы. Профиль черноземов включает два основных горизонта: темно-гумусовый и аккумулятивно-карбонатный. Они разделены бескарбонатным горизонтом со слабым содержанием глины. Накопление почвенных карбонатов начинается с глубины 0,7–1 м. Содержание гумуса высокое – 4–8 %, реакция среды нейтральная или слабощелочная. Первоначальная комковато-зернистая структура гумусового горизонта нарушается (в разной степени) на сельскохозяйственных землях.

Северные и центральные части территории характеризуются избыточным увлажнением, поэтому наряду с почвами подзолистого и дерново-подзолистого типов при определенных условиях формируются почвы разной степени заболоченности и торфяные (гидроморфные) почвы. Переувлажнение почв атмосферными осадками происходит на тяжелых почвах, подстилаемых очень плотной водонепроницаемой глиной. В этом случае вода плохо просачивается, возникает верховодка. Однако она не постоянна, формируется весной при таянии снега, летом и осенью во время затяжных или ливневых дождей. К гидроморфным относятся болотные и болотно-подзолистые почвы. В основном они формируются в среднетаежной зоне, но встречаются и в южной тайге (в пределах крупных песчаных низин). В составе *болотных почв* много торфяных почв верхового типа. В полесьях распространены почвы болот переходного типа. В середине XX в. в бассейне проводились осушительные мелиорации на пашнях и в окрестностях торфоразработок. В результате в почвенном покрове выделяются разности осушенных болотных торфяно-глеевых и торфяных почв. Прекращение мелиоративных работ сопровождается естественным зарастанием дренажных канав и вторичным заболачиванием почв.

Болотно-подзолистые почвы формируются на водоразделах рек лесной зоны. В условиях избыточного увлажнения, при промывном и периодически водозастойном режиме в почвах формируется сплошной сизо-голубой (глеевый) горизонт. Торфяные почвы развиваются при постоянном избыточном переувлажнении. В них накапливается значительное количество

неразложившегося органического вещества. Профиль этих почв образуют два слоя: горизонт торфяной (Т) и глеевый (G). Слой торфа может иметь толщину от 50 до 100 см и более. Верховые торфяные почвы отличаются высокой кислотностью ($pH = 2,5 - 3,5$), малой степенью разложения торфа, волокнистостью, значительной влагоемкостью, низким содержанием питательных веществ. Болотные почвы низинного типа отличает высокая степень разложения торфа, слабокислая или нейтральная реакция, низкая влагоемкость. Большинство болотных почв отличает пониженное содержание фосфора, калия, магния и микроэлементов.

В хозяйственный оборот вовлечено более 40 % территории, что привело к изменению свойств почвенного покрова (рисунок 1.7) [13]. В естественном состоянии почвы сохранились более чем на 20 % общей территории района, а почвы, относительно слабо задетые хозяйственной деятельностью, покрывают 34 % территории.

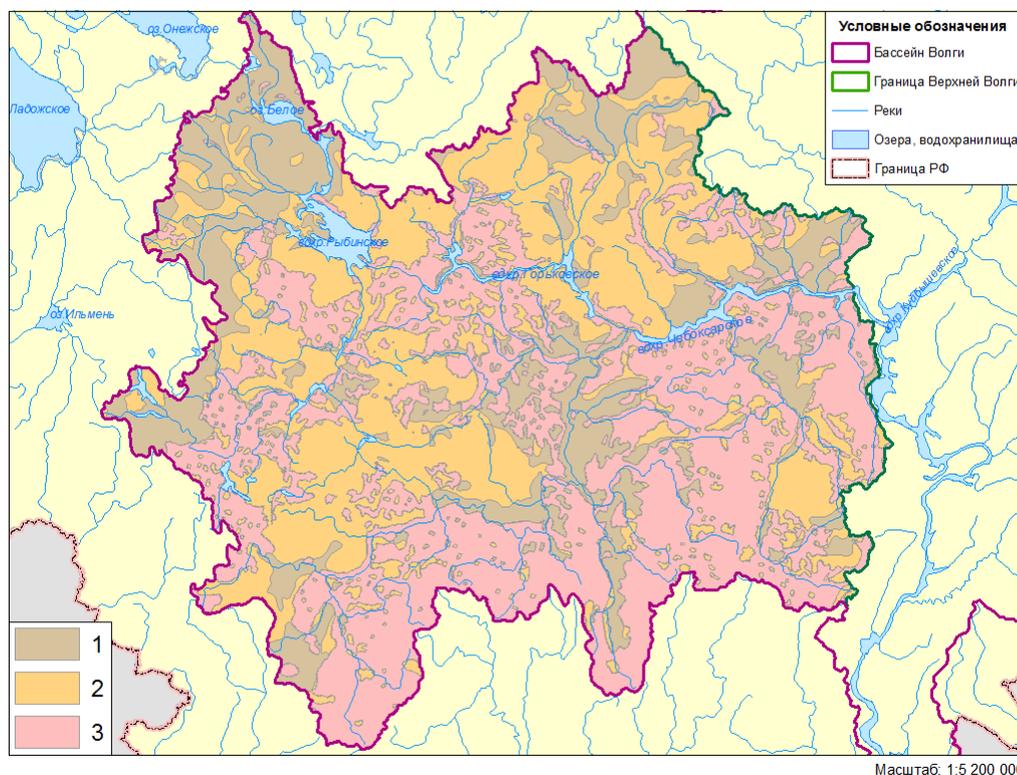


Рисунок 1.7 - Хозяйственное изменение состояния почв

1 – почвы в естественном состоянии; 2 – почвы в условно естественном состоянии; 3 – почвы, находящиеся в хозяйственном обороте

В зависимости от типа почв и их свойств изменяются условия формирования составляющих речного стока. Для зоны, занятой подзолистыми почвами, их водный режим почв является промывным (рисунок 1.8). Он формируется в условиях превышения суммы осадков над суммарным испарением. В этом случае нисходящие потоки влаги преобладают (над восходящими), а почва промывается до уровня грунтовых вод. На территориях, расположенных к

югу от Оки (27 % площади бассейна), покрытых серыми лесными почвами и черноземами, формируется периодически промывной режим. Он характерен для условий примерного равенства осадков и испарения. Лишь во влажные годы количество атмосферных осадков превышает испарение и, соответственно, формируется промывной режим. В сухие годы испарение превышает атмосферное увлажнение почв, что обеспечивает их непромывной водный режим. Возможны и другие типы водного режима почв (рисунок 1.8) [15].

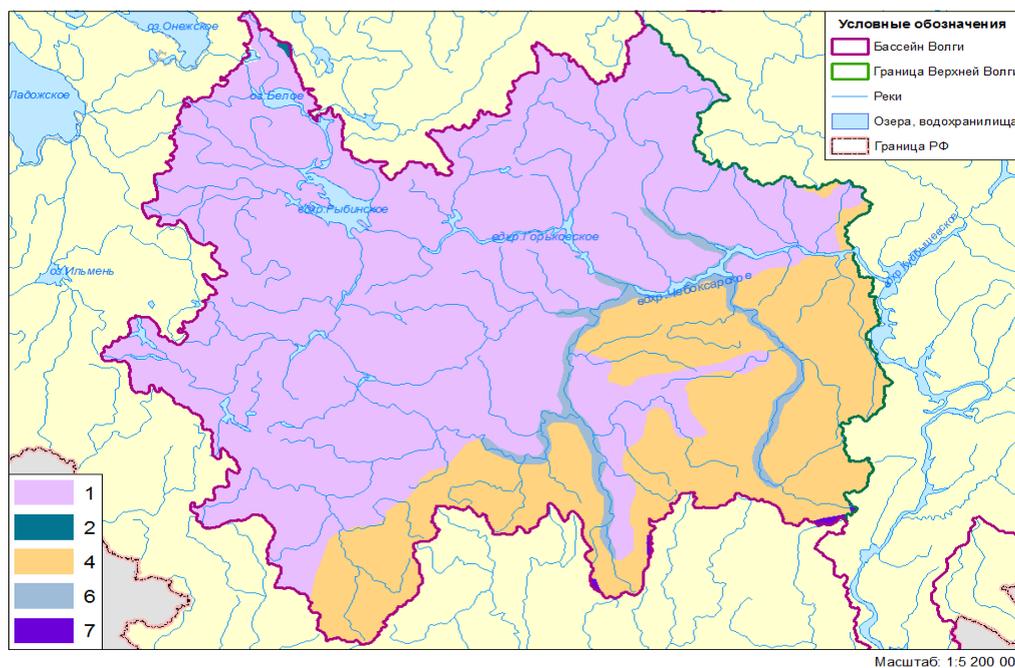


Рисунок 1.8 – Типы водного режима почв Верхневолжского бассейна

1 – промывной (пермацидный); 2 – промывной водный режим с периодическим застоем поверхностных или грунтовых вод; 4 – периодически промывной; 6 – намывной; 7 – непромывной (импермацидный)

В бассейне существует большая неоднородность дренирования почв. В соответствии с классификацией на 78 % территории бассейна почвы характеризуются оптимальной дренированностью. При оптимальной дренированности вода просачивается через почву легко, но не быстро. Почва сохраняет оптимальное количество влаги, когда уровень увлажнения не препятствует росту корней растений в течение значительных по продолжительности периодов. Более 10 % территории бассейна покрыты почвами со сравнительно хорошей дренирующей способностью (рисунок 1.9). Вода удаляется из почвы относительно медленно. Почва остается влажной в течение коротких периодов на глубине корневой системы. Более 5 % территории заняты почвами (на заболоченных землях), которые дренированы очень слабо. Для дерново-подзолистых почв бассейна запасы воды в метровом слое при влажности завядания растений варьируют в пределах от 120 до 150 мм (рисунок 1.10, а). В южных районах, где преобладают серые лесные почвы и черноземы, они возрастают до 160–200 мм [16–17].

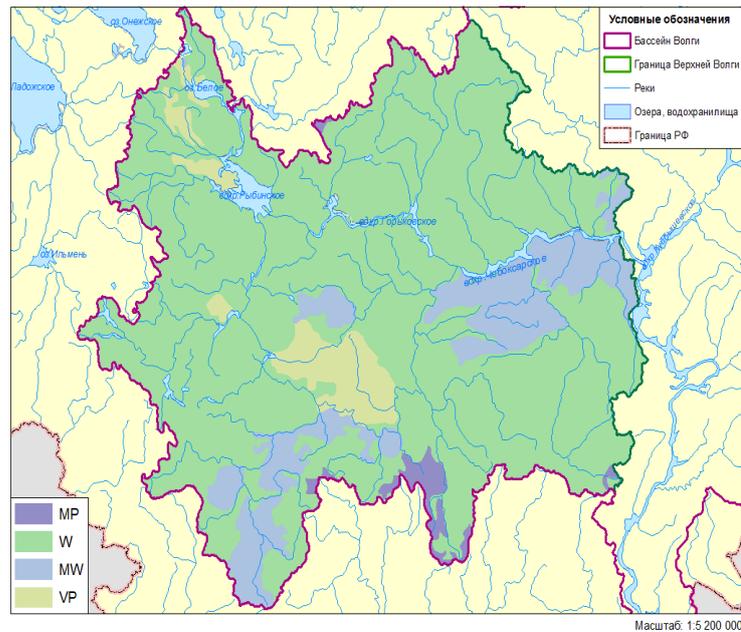


Рисунок 1.9 – Дренированность почв Верхневолжского бассейна

MP – интенсивная; W – оптимальная; MW – сравнительно хорошая; VP – очень слабая

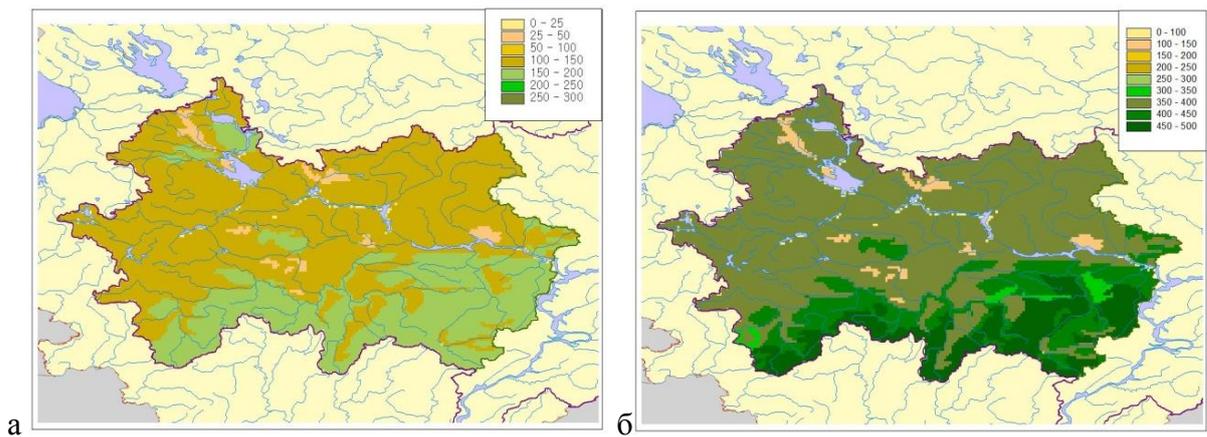


Рисунок 1.10 – Запасы влаги в метровом слое почв Верхневолжского бассейна при влажности (мм), равной: а – влажности завядания, б – полевой влагоемкости

Влагозапасы в метровом слое почвы, соответствующие полевой влагоемкости для дерново-подзолистых почв изменяются в пределах 360–390 мм; для серых лесных почв – 400 мм, а для черноземов – 460–480 мм (рисунок 1.10, б).

1.3 Растительный покров

В пределах бассейна растительный покров отличается большой пространственной неоднородностью, обусловленной зональными условиями обитания растительности и особенностям ландшафтной структуры территории [18]. В пределах бассейна Верхней Волги выделяются Прибалтийско-Ветлужский, Смоленско-Приуральский и Днепровско-Приволжский экологические регионы (рисунок 1.11) [19].

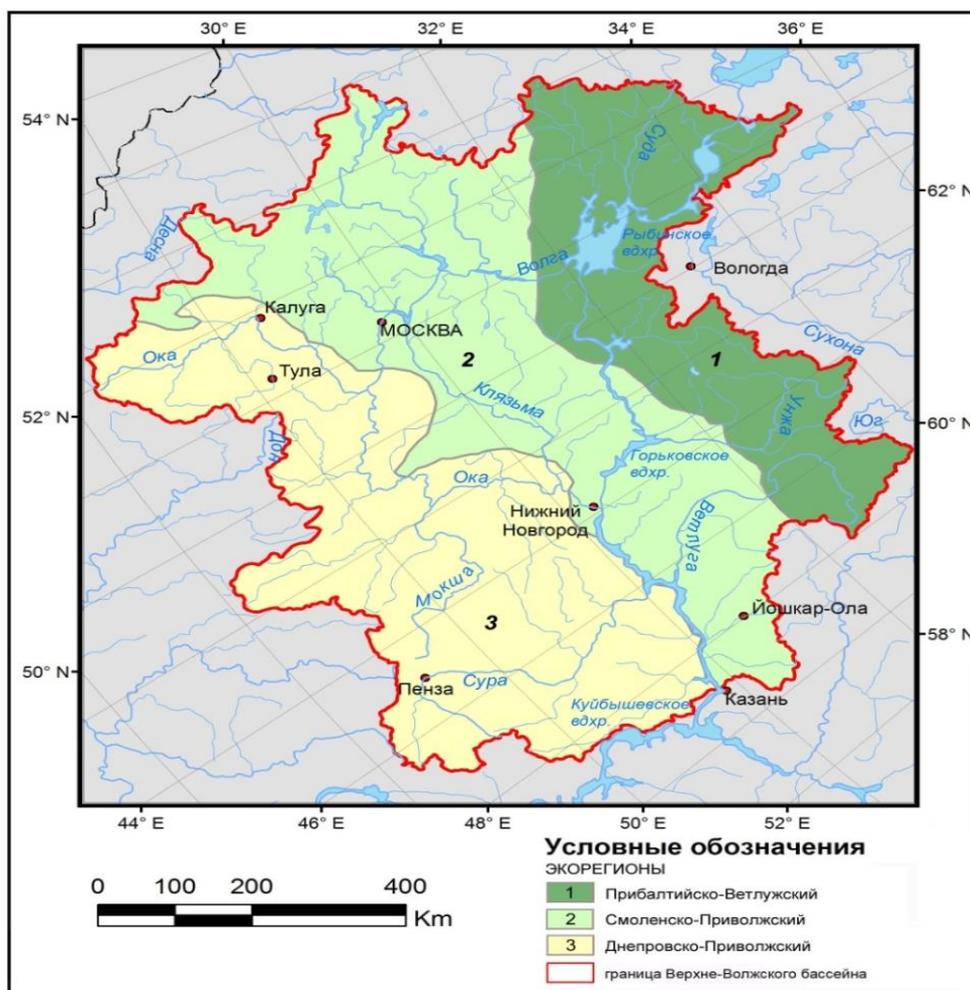


Рисунок 1.11 – Экорегions Верхневолжского бассейна

Для Прибалтийско-Ветлужского экорегiona характерно сочетание бореальных южнотаежных и субнеморальных (с неморальными видами в травяном ярусе) еловых лесов. Смоленско-Приуральский регион отличает распространение гемибореальных широколиственно-хвойных (еловых, сосновых) лесов подтайги. В пределах Днепровско-Приволжского экорегiona доминируют широколиственные леса с небольшими участками лесостепей по его южной окраине. Относительно небольшая северо-западная часть бассейна Верхней Волги относится к Прибалтийско-Ветлужскому экорегionу бореальных южнотаежных хвойных лесов. Северная граница бассейна практически совпадает с северной границей южной тайги. Восточноевропейские южнотаежные леса протягиваются полосой от Валдая до границ бассейна р. Кама. Они развиваются в условиях умеренно-континентального климата при достаточно хорошем соотношении тепла и влаги. Для их развития благоприятны условия, при которых средние годовые температуры воздуха не опускаются ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, сумма активных температур выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет около $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а годовое количество осадков колеблется в пределах $650\text{--}750\text{ мм}$.

Для южной тайги характерно распространение темнохвойных еловых и светлохвойных сосновых травяных лесов и сфагновых верховых болот. Эти леса имеют сложную структуру с разнообразным подлеском и хорошо развитым травяно-кустарничковым ярусом; моховой покров отличается фрагментарностью. В пределах Верхневолжского бассейна они представлены валдайско-онежским комплексом формаций с характерными еловыми сообществами европейской ели с небольшой примесью березы и осины. Дренированные водоразделы малых рек заняты еловыми кисличными лесами. Равнинные территории с недостаточным дренажем покрыты кислично-черничными ельниками. На дренированных склонах высоких равнин и богатых карбонатных почвах (Валдайская возвышенность) распространены кислично-широкотравные еловые леса. В пределах пониженных и плоских равнин часто встречаются заболоченные еловые леса долгомошно-сфагновой группы типов. Сосновые леса распространены разрозненными массивами, приуроченными к песчаным и супесчаным почвам равнинных территорий.

Наиболее характерными являются зеленомошные, лишайниковые группы сосняков, занимающие дренированные территории, и долгомошные и сфагновые группы лесов – заболоченные водоразделы и речные террасы.

Широколиственно-хвойные подтаежные леса, окаймляющие тайгу с юга, протягиваются широкой полосой от Балтийского моря на северо-западе к востоку. Они занимают значительные пространства в Тверской, Московской, Владимирской, Рязанской и других областях региона. Ширина этой полосы уменьшается в сторону Камского Заволжья [18]. Хвойно-широколиственные леса – самостоятельный зональный биом с характерным составом биоты [19].

Значительная часть бассейна Верхней Волги (34 %) относится к Смоленско-Приволжскому экорегиону, в котором доминируют широколиственно-еловые леса. Основные районы распространения этих лесов совпадают с бассейнами рек, находящимися в пределах Смоленско-Московской, Валдайской и Клиньско-Дмитровской возвышенностей. Южная его граница совпадает с границей распространения ели.

Широколиственно-хвойные леса формируются в условиях более мягкого климата (по сравнению с бореальными лесами) и на более богатых дерново-подзолистых почвах. Территория достаточно обеспечена осадками (от 650–750 мм/год в западной части до 500–600 мм/год – на востоке) и теплом (сумма активных температур выше 10 °С составляет 1850–2000 °С). Существование этих лесов оптимально при сравнительно умеренных зимах и отсутствии засушливого летнего периода.

В составе восточноевропейских широколиственно-хвойных лесов преобладают сообщества ели обыкновенной с участием в древостоях широколиственных пород: дуба черешчатого, липы сердцелистной, ясеня обыкновенного, клена платанолистного, вяза. Преобладают дубово-еловые, липово-дубовые, дубово-липово-еловые и ясеневые-дубово-еловые группы лесов кисличного и

широкотравного комплекса сообществ. Водораздельные поверхности в зональных условиях заняты преимущественно елово-дубовыми и елово-липовыми лесами. Липово-еловые леса занимают пологие поверхности с покровными суглинками на моренных отложениях. Дубово-еловые леса приурочены к южным склонам Клинско-Дмитровской гряды. Ясенево-дубово-еловые леса встречаются в южной части региона. По долинам рек в условиях избыточного увлажнения широко распространены березово-черноольховые леса.

Сосновые леса с участием широколиственных пород представляют эдафические варианты зональных типов лесов в долинах рек Москва, Ока, Десна, на Приволжской возвышенности, в бассейне Мокши. Сосново-широколиственные леса приурочены к обширным древнеаллювиальным равнинам с песчаными и супесчаными почвами, к террасам крупных рек и их водоразделам. Они развиты на рельефе флювиогляциального происхождения, в условиях перекрытия моренных суглинков отложениями более легкого механического состава [20].

Восточноевропейские широколиственные леса и фрагменты лесостепи Днепровско-Приволжского экорегиона занимают в бассейне Верхней Волги 40 % его площади. Южная граница бассейна Верхней Волги практически совпадает с пределами распространения зональных широколиственных лесов. В этих условиях возможно взаимопроникновение участков леса и луговых степей. Как зональный тип растительности широколиственные леса (до начала активной хозяйственной деятельности) простирались сплошной полосой в направлении с запада на восток. Северные границы распространения широколиственных лесов определены продолжительностью холодного периода и суммой активных температур. Максимальное продвижение на север характерно для участков речных долин. На южных границах лимитирующим фактором существования этих лесов является увлажненность территории. Широколиственные леса смещаются с водораздельных пространств (к югу от границы лесостепной зоны) по долинам рек в бассейнах Днепра и Волги. Под влиянием хозяйственной деятельности площади лесов в последние столетия сильно сократились. Одновременно существенные изменения претерпела их структура. Сохранившиеся фрагменты широколиственных лесов имеют островной характер, окружены сельскохозяйственными землями, поселениями и другими измененными природными территориями.

Восточноевропейские широколиственные леса простираются от восточной окраины Приднепровской низменности к Волге, образуя сплошную полосу. К востоку от долины Волги и южнее эти леса встречаются отдельными массивами, чередуются с участками луговых степей. На север они проникают по долинам рек, встречаясь отдельными массивами и в подзоне широколиственно-хвойных лесов. Наиболее широко восточноевропейские широколиственные леса распространены на Среднерусской и Приволжской возвышенности, отдельными массивами

встречаются на Окско-Донской равнине. В настоящее время они занимают примерно 10–15 % территории на равнинах в зоне широколиственных лесов, а в лесостепи – 10–12 % площади.

Лесистость бассейна Верхней Волги в среднем составляет 38–40 %, достигая 70 % в южной тайге и уменьшаясь до 10 % в южных лесостепных районах. Леса в Верхневолжском бассейне занимают 325 000 км², или 50,2 % территории региона (таблица 1.3). В Прибалтийско-Ветлужском экорегионе площадь лесов составляет 85 %, в Смоленско-Приволжском – 48 %, а в Днепровско-Приволжском – 29 % от их площади. Лесной покров неоднороден. В структуре лесов представлены темнохвойные, смешанные, лиственные и сосновые леса. Темнохвойными считаются леса, в пологе которых не менее 80 % площади крон составляют хвойные породы (ель обыкновенная). В смешанных древостоях преобладают темнохвойные породы, в пологе которых хвойные породы составляют более 60 % площади крон. К лиственным лесам относят леса, в пологе которых на более 50 % площади представлены кроны мелколиственных (береза, осина) и широколиственных (дуб, липа) пород. Сосновые леса – леса, в пологе которых не менее 80 % площади крон формирует сосна.

Таблица 1.3 – Характеристика лесов в бассейне Верхней Волги

Экорегион	Прибалтийско-Ветлужский	Смоленско-Приволжский	Днепровско-Приволжский
Общая площадь, тыс. км ² (%), в том числе лесов	168 (26 %)/ 143 (85 %)	220 (34 %)/ 106 (48 %)	259 (40 %)/ 76 (29 %)
темнохвойные леса, %	5	3	1
смешанные древостои, %	12	11	3
лиственные леса, %	56	53	15
сосновые леса, %	13	10	4

Крупные массивы восточноевропейских лесов вырублены, значительные лесные площади используются под пашни. На больших площадях хвойные леса сменились осиново-березовыми сообществами. За последние 200 лет залесенность бассейна Верхней Волги неоднократно менялась. В середине XVIII в. лесистость отдельных территорий достигала 70–80 %, составляя в среднем около 55 %. К концу XIX в. произошло ее снижение до 40–45 % [21]. Крупные массивы хвойных или широколиственно-хвойных лесов сохранились только в северо-западной части бассейна. Наименьших значений лесистость бассейна достигла к началу 1920-х годов. Сокращению площади лесов способствовали потребности военного времени 1920–1921 гг. и крупные лесные пожары [22]. В результате лесистость снизилась в среднем до 30–35 %. В дальнейшем потребность в лесозаготовках продолжала нарастать, однако освоению лесных ресурсов препятствовала сильная степень истощения транспортно-доступных лесов. Леса утратили часть водоохраных и почвозащитных функций. В результате лесовосстановительных мероприятий уже к 1956 г. произошло увеличение площади лесов. Основные площади вырубок сместились на север и восток региона.

Несмотря на постепенное снижение объемов лесозаготовок в бассейне Верхней Волги, в некоторых его частях продолжалось уменьшение лесистости по сравнению с серединой 1950-х годов вследствие пожаров. К концу 1970-х годов лесистость бассейна составляла 45–50 %. В бассейне абсолютно преобладали мелколиственные леса (березовые, осиновые). Они отличались незрелостью (меньшим возрастом) меньшей густотой древостоя.

С 1980–1990-х годов возникла тенденция к увеличению лесопокрытых площадей, обусловленная кризисом в сельском хозяйстве, сокращением площади обрабатываемых земель, зарастанием полей, уменьшением площади вырубок. В некоторых районах Верхневолжского бассейна произошло снижение общих запасов древесины, связанное с вырубкой наиболее ценных продуктивных спелых лесов [23]. По состоянию на 1998 г. лесистость бассейна Верхней Волги достигла 50–55 %. Лесистость бассейна Верхней Волги на 2003 г. составляла около 45 % [23]. В пределах бассейна наибольшая лесистость характерна для северных, наименее освоенных областей. На территории Кировской области залесенность превышает 63 %, в Вологодской области – 70 %, а в Костромской области она достигает 74 %. В западных густо заселенных областях лесистость меньше. В частности, в Ярославской области залесенность равна 45 %, в Тверской – 54 %, Ленинградской – 56 %. К югу лесистость снижается, достигая в лесостепных областях (Саратовская, Курская, Липецкая, Орловская) 6–8 %. К 2008 г. площадь лесов возросла до 57–58 %. В Ивановской и Нижегородской области, Республике Марий Эл лесопокрытая площадь, наоборот, уменьшилась.

Изменение залесенности речных водосборов в значительной мере влияет на речной сток. Уменьшение лесистости в среднем на 30 % уменьшает слой среднего годового стока рек в подзоне хвойно-широколиственных лесов на 25 мм (14 %). С залесенных бассейнов сток в летне-осенний период больше в среднем на 16,9 мм (или на 34 %), а за зимний период – на 6,4 мм (33 %) [24; 25]. Эффективная инфильтрация на более залесенных водосборах возрастает в среднем на 25 мм или 41 %. В водно-ледниковых ландшафтах западных лесных районов Московской области (при лесистости бассейнов более 30 %) модуль стока увеличивается на 0,53 л/сек км² при возрастании площади лесов на каждые 10 %. В моренных ландшафтах возрастание стока с увеличением лесистости менее значимо: каждые последующие 10 % лесистости приводят к увеличению модуля стока на 0,46 л/сек км² [25]. Максимальная прибавка к годовому стоку наблюдается при начальной лесистости водосбора более 40 %.

Большая часть лесов Верхневолжского бассейна имеет вторичное происхождение. Водорегулирующие функции этих лесов в значительной мере изменены по сравнению с коренными лесами. Появление производных мелколиственных лесов сопровождается рядом негативных изменений качества воды малых рек. Под хвойными лесами в естественных условиях поддерживается кислая реакция внутрипочвенных вод, что обеспечивает малую подвижность

многих видов загрязняющих веществ. Смена хвойных лесов осиново-березовыми производными сообществами приводит к формированию более щелочной среды и увеличению миграционной способности ряда химических элементов и соединений. Разгрузка почвенных горизонтов в малые водотоки может сопровождаться при этом снижением качества воды [26].

В бассейне Верхней Волги представлены три типа основных ландшафтных зон: таежная, смешанных лесов и лесостепная (рисунок 1.12). Более 30 % территории Верхневолжского района расположено в таежной зоне (провинции Северных Увалов и Низменного Заволжья). Ландшафты смешанных и лиственных лесов занимают около 60 % региона. Около 9 % территории бассейна относится к лесостепным ландшафтам (Среднерусская провинция и провинция Окско-Донской равнины) [15].

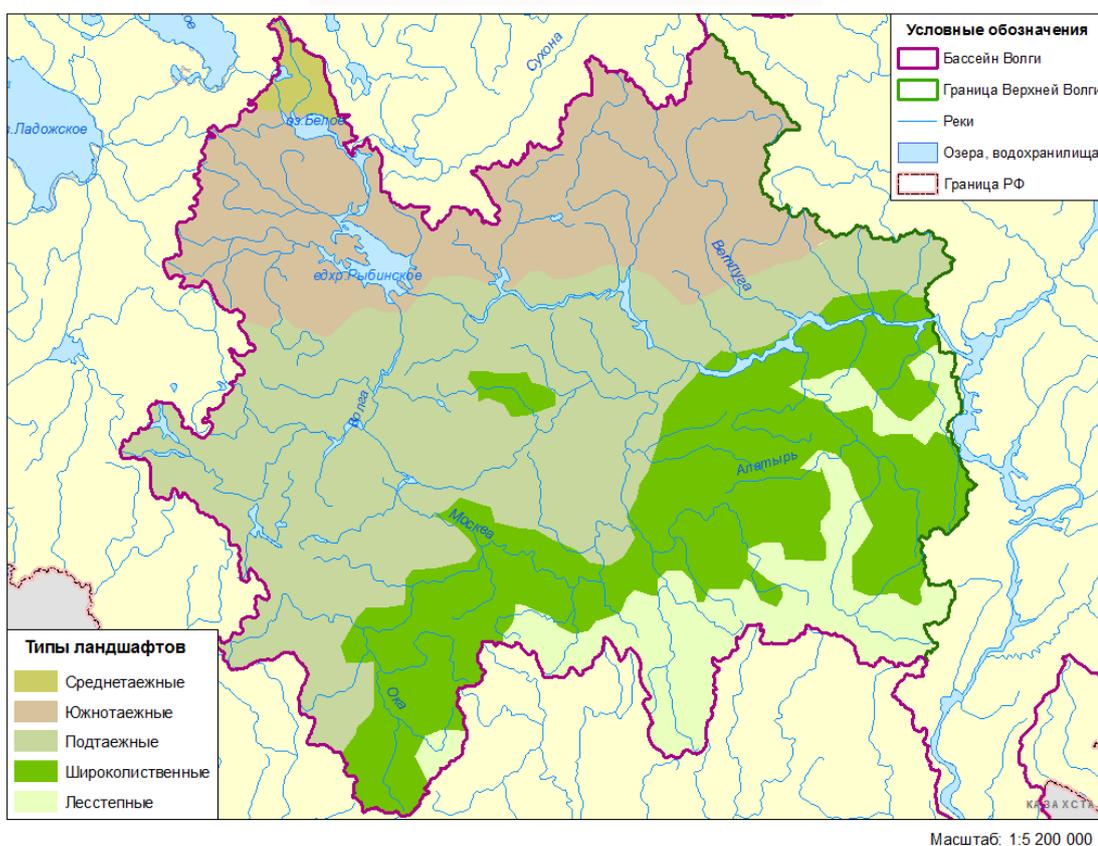


Рисунок 1.12 – Типы основных ландшафтов в бассейне Верхней Волги

1.4 Подземные воды

В гидрогеологическом отношении бассейн Верхней Волги относится к Среднерусскому и (частично) к Восточно-Русскому артезианским бассейнам. В пределах этих бассейнов выделяются менее крупные гидрогеологические структуры: Московский, Ветлужский, Волго-Сурский и Приволжско-Хоперский артезианские бассейны [27; 28] (рисунок 1.13).

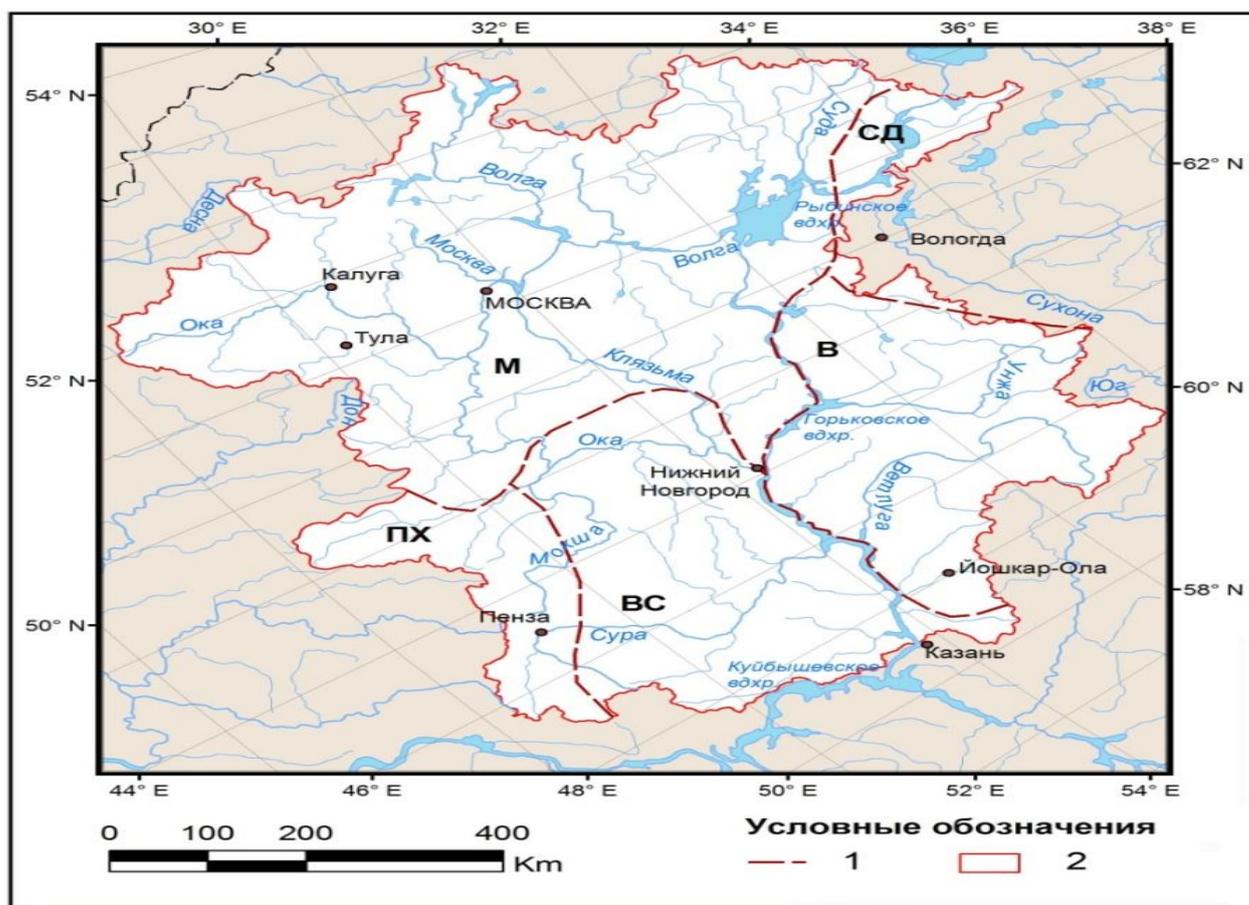


Рисунок 1.13 – Схема гидрогеологического районирования бассейна Верхней Волги

1 – граница артезианских бассейнов, 2 – водораздел бассейна Верхней Волги, артезианские бассейны: М – Московский, В – Ветлужский, ВС – Волго-Сурский, ПХ – Приволжско-Хоперский, СД – Северо-Двинский

Ветлужский артезианский бассейн охватывает северо-восточную часть бассейна Верхней Волги. Подземные воды водосборов р. Ветлуга и ее притоков в пределах Костромской и частично Нижегородской, Ивановской и Кировской областей приурочены к песчаным толщам четвертичных, юрских, триасовых и пермских отложений. На востоке Верхневолжского бассейна находится Волго-Сурский артезианский бассейн. Основные водоносные горизонты здесь приурочены к четвертичным аллювиальным, неогеновым, меловым, пермским и каменноугольным отложениям. Юго-западная часть бассейна (северная часть Тамбовской, Пензенской областей, большая часть Ульяновской области) соответствует местоположению Приволжско-Хоперского артезианского бассейна. Основные водоносные горизонты бассейна формируют четвертично-неогеновые (пески), меловые (пески, мергели и мелы), карбонатные отложения каменноугольного и девонского возраста.

Северо-Двинский артезианский бассейн лишь небольшим участком входит в пределы бассейна Верхней Волги. Основные водоносные горизонты бассейна приурочены к пермским (алевролиты, пески, известняки) и каменноугольным отложениям (известняки, доломиты).

Водоносный комплекс аллювиальных отложений в пределах территории Верхневолжского бассейна включает горизонты современных аллювиальных (alQ_{IV}) и древнеаллювиальных (alQ_{II-III}) отложений.

Современные аллювиальные отложения приурочены к расположению крупных балок, оврагов, речных русел, террас и долин. Ширина зоны их распространения в долинах рек обычно не превышает 1–2 км. Лишь в долинах Волги и Оки она достигает 15 км. Мощность водосодержащей толщи колеблется от 1–2 м в балках и оврагах до 70 м и более в долине Волги. Интенсивность фильтрации воды в современных аллювиальных отложениях достигает максимальных значений (125 м/сут) в долине р. Ветлуга. Водообильность горизонта относительно мала (порядка 0,1 л/сек). В долинах крупных рек (Волга, Ока, Клязьма, Москва, Мокша), где мощность обводненной толщи современных аллювиальных отложений достигает 10 м, дебиты родников и колодцев возрастают до 1 л/сек.

Древнеаллювиальные отложения приурочены к высоким речным террасам Волги, Оки, Москвы, Клязьмы, Угры и других рек. Они сформированы разнородными песками с прослоями супесей, суглинков и глин. Мощность этих водовмещающих пород колеблется от 15 до 35 м. Максимальная их мощность характерна для Тверской области, где она достигает 65 м. Мощность обводненной толщи обычно изменяется от 1,2 до 15 м. Лишь на переуглубленных участках долин Волги и Судогды она возрастает до 20 и более метров. Воды древнеаллювиальных отложений в основном безнапорные, залегают на глубине до 4 м, в областях развития покровных суглинков – до 20 м (г. Кимры). Питание водоносного комплекса осуществляется за счет атмосферных осадков и вследствие поступления воды из нижерасположенных дочетвертичных горизонтов. Интенсивность фильтрации изменяется от 0,3–0,5 до 295 м/сут. Водообильность этого горизонта колеблется от 0,1–2 до 3–4 л/сек. Максимальные значения водообильности характерны для района г. Серпухов (5,7 л/сек), Владимира (13,9 л/сек), Ковровского района Владимирской области (16,6 л/сек).

Воды современных болотных отложений (h,lQ_{IV}) широко развиты на водосборах рек Тверца, Цна, Мста, Медведица, Молога. В северо-западной части региона, где находятся озера Селигер, Пено, Волго, Шлино, Вселуг, Серемо, Охват, Великое и др., преобладают озерные отложения. Мощность обводненной части болотных отложений составляет 5–7 м, а озерных – до 12 м. Вода содержится в торфе или в мелко- и тонкозернистых песках, чередующихся с прослоями глин (озерные отложения).

Водно-ледниковый комплекс отложений подразделяется на надвалдайский ($fgl, lglQ_{III}v$), валдайско-московский ($fgl, lglQ_{II}m - Q_{III}v$), московско-днепровский ($fgl, lglQ_{II}dn - m$) и днепровско-окский водоносные горизонты, а также на флювиогляциальные и аллювиальные отложения ($fgl, alQ_{II}dn - Q_{I}ok$).

Надвалдайский водоносный горизонт широко распространен в бассейне Верхней Волги. Водовмещающие породы: мелко- и среднезернистые пески с галькой и гравием, а также переслаивающиеся мелко- и тонкозернистые пески и суглинки. Их мощность колеблется от нескольких метров до 10–12 м, иногда достигая 20 м (г. Осташков). Воды надвалдайского водоносного горизонта в основном безнапорные, вскрываются на глубине до 9 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, реже – вследствие поступления вод из нижележащих горизонтов. Водообильность горизонта относительно мала (около 0,5 л/сек).

Валдайско-московский водоносный горизонт залегает к западу и северо-западу от городов Рославль, Кольчугино, Подольск, Калуга, граничит с зоной распространения валдайского оледенения. Водовмещающие породы представлены разнозернистыми песками с прослоями галечников и валунов. Мощность толщи колеблется от 3–4 м до 10–12 м, изредка достигая 20–45 м (Московская область). Воды этого горизонта безнапорны. Глубина залегания грунтовых вод существенно зависит от режима выпадения атмосферных осадков. Водообильность горизонта значительная. При напорном режиме подземных вод дебиты достигают 2,5 л/сек. В Верхневолжской низине, по склонам Клинско-Дмитровской гряды, по долинам рек Шоша, Нерль (приток Волги) и Нерль (приток Клязьмы) водоносный горизонт гидравлически связан с аллювиальными отложениями. Вследствие этого дебит источников воды достигает 3 л/сек.

Подземные воды московско-днепровских отложений образуют единый водоносный горизонт. Они являются напорными в области распространения отложений московского оледенения. Водоносный горизонт сложен преимущественно разнозернистыми песками с гравием и галькой (при наличии прослоев глин и суглинков). В древних погребенных долинах отложения представлены глинистыми частицами озерно-болотного генезиса. Мощность отложений составляет порядка 10–12 м, иногда достигая 25–30 м. Разгрузка вод происходит на склонах долин рек и балок, вызывает заболачивание речных долин. Водообильность горизонта сильно изменяется по площади. Наибольший дебит имеют скважины, вскрывающие гравийные прослои (от 0,01–0,1 до 2–3 л/сек, а иногда и до 10 л/сек). Максимальная водообильность характерна для района г. Мытищи, где горизонт связан с валдайско-московским и аллювиальным водоносным горизонтами.

Днепровско-окский водоносный горизонт не имеет сплошного распространения и залегает под днепровской мореной преимущественно в Верхневолжской, Мещерской и Окско-Мокшинской

депрессии доледникового рельефа, а также в погребенных долинах и древних впадинах. Водовмещающие породы представлены в основном мелко- и среднезернистыми песками с прослоями суглинков и глин. Общая мощность отложений не превышает 5–12 м, в погребенных долинах достигает 25 м, в глубоких впадинах – 40–100 м. Водоносный горизонт залегает на глубине до 20 м от дневной поверхности в бассейне Оки и Клязьмы, а в зонах погружений и древних размывов еще ниже (на отметках до 90 м). Этот горизонт отличает высокая водообильность. Дебит отдельных источников, скважин и колодцев составляет 1–7 л/сек.

Ледниковые отложения распространены в основном в Верхнем Поволжье и в бассейне реки Медведица. Они слабо обводнены и имеют спорадический характер распространения. Мощность слоя отложений достигает 100 м. Грунтовые воды приурочены к линзам песков, супесей и галечников, залегающих в моренных отложениях.

Подземные воды неогеновых и палеогеновых отложений в основном распространены в южной части бассейна Верхней Волги. Отложения залегают в переуглублениях речных долин и перекрыты толщей четвертичных аллювиальных отложений. Общая мощность отложений колеблется от нескольких метров до 50–60 м. Обычно пески обводнены только в нижней части (мощность не более 10 м). Зеркало подземных вод фиксируется на глубине до 10–18 м от дневной поверхности.

Подземные воды юрско-меловых отложений (трещинно-пластовые и порово-пластовые) широко развиты в восточной части региона. Характер распространения и условия залегания водоносных горизонтов различаются для северо-восточных и юго-западных частей бассейна. Это обусловлено перерывом в осадконакоплении с конца палеозоя до начала мезозоя, следствием которого стала значительная денудация горных пород и несогласное налегание на горизонт мезозойских отложений. В вертикальном разрезе представлено несколько водоносных горизонтов: сантон-туронский ($K_2t - st$), сеноман-альбский ($Kal + cm$), апт-неокомский ($K_1nc + ap$), волжский (J_3v) и келловей-батский ($Jbt + cl$). Водосодержащие породы представлены в основном песками различной степени зернистости и глинистости.

Юрско-меловые отложения не образуют единого водоносного комплекса. Верхнемеловые отложения представлены мергельно-меловыми и песчаными отложениями, которые характеризуются различной степенью обводненности. Верхнемеловые отложения развиты в долине Волги и Суры.

Подземные воды пермских и триасовых отложений распространены в восточной части Тверской, Ярославской, Костромской, Ивановской и большей части Владимирской областей. В толще отложений триасового и пермского возрастов представлены отложения ветлужской серии

нижнего триаса (T_1vt) и татарского яруса верхней перми (P_2t), а также водоносные горизонты казанского яруса верхней перми (P_2kz) и водоносный горизонт нижней перми (P_1).

Подземные воды ветлужской серии нижнего триаса и татарского яруса верхней перми имеют спорадическое распространение, приурочены в основном к глинам с переслаивающимися песчаниками и известняками. Взаимосвязь с нижележащими горизонтами пермского и карбонового возраста происходит по трещинам и разломам (Ярославская область). Водообильность отложений в основном относительно мала. Локально дебит источников подземных вод достигает 8,0 л/сек.

Подземные воды в казанском ярусе верхнепермских и нижнепермских отложений отличаются спорадическим распространением. Они накапливаются в толще карбонатных и сульфатно-карбонатных горных пород. Водовмещающие породы представлены доломитами и доломитизированными известняками с включениями гипса. Водообильность этих горизонтов достигает 7–9 л/сек.

В пределах Московской синеклизы подземные воды каменноугольных отложений имеют повсеместное распространение. К каменноугольным отложениям приурочены основные водоносные горизонты и комплексы: гжельско-ассельский ($C_3g - P_1a$), касимовский (C_3ksm), подольско-мячковский ($C_2pd - mc$), каширский (C_2ks), протвинский (C_1pr) и алексинско-тарусский ($C_1al - tr$). Водоносные комплексы разделены щелковским (C_3sc), кривякинским (C_3kr), ростиславльским (C_2rst), верейским (C_2vr) и стешевским (C_1st) региональными водоупорами. Это обуславливает напорный режим существования подземных вод, различия в условиях питания, характере дренирования водоносных горизонтов.

Гжельско-ассельский ($C_3g - P_1a$) водоносный горизонт – основной источник воды для водоснабжения Талдомского, Дмитровского, Сергиево-Посадского, Пушкинского, Щелковского, Ногинского, Павлово-Посадского и других районов Московской области. Глубина залегания водовмещающих пород колеблется от 2 до 190 м. Удельные дебиты скважин изменяются от 3 до 50 м³/сут.

Касимовский водоносный горизонт (C_3ksm) отличается большой изменчивостью водообильности (3–50 м³/сут) по площади распространения горизонта. Наибольшая водообильность характерна для речных долин. Водовмещающие породы представлены известняками различной степени трещиноватости с прослоями мергелей и доломитов. Глубина залегания кровли водоносного горизонта от 5–10 до 80 м, мощность – до 70 м. Воды горизонта напорные. Величина напора на отдельных участках достигает 90 м.

Подольско-мячковский водоносный горизонт (C_{3pd-mc}) распространен в Московской области за исключением ее юго-западной части. Мощность этого горизонта изменяется от нескольких метров до 50–60 м. Глубина залегания его кровли колеблется от 0–20 м (долины рек Руза, Москва, Пахра и Ока) до 450 м, возрастая в северо-восточном направлении. Напор воды в скважинах колеблется от 20 до 120 м. Дренируется горизонт в долины крупных рек (Волга, Ока, Руза, Пахра и др.). В долине Оки он гидравлически связан с грунтовыми водами. Водообильность отложений изменяется от 1 до 5–6 л/сек. Дебит скважин может достигать 50 л/сек (Волоколамский район). Водопроницаемость отложений изменяется от 100 до 1000 м²/сут, а в некоторых случаях достигает и 2500 м²/сут (северо-западная часть Московской области).

Каширский водоносный горизонт (C_2ks) распространен на всей территории Московской области. Водовмещающими породами являются трещиноватые известняки и доломиты. Ширина полосы залегания водоносного горизонта составляет 30–50 км, глубина залегания изменяется от 0–10 м в долинах рек Волга, Вазуза, Ока, Проня до 90–95 м на водоразделах. Мощность водоносного горизонта колеблется от нескольких метров до 40–50 м. Каширский водоносный горизонт в основном напорный; величина напора увеличивается в северо-восточном направлении. Средняя водопроницаемость горизонта колеблется от 400 до 1000 м²/сут. Удельный дебит небольшой, составляет 2–3 м³/час. В направлении к границе распространения водоносного горизонта южнее Нары и Пахры водопроницаемость уменьшается до 100 м²/сут, а удельный дебит до 1 л/сек.

Граница распространения Протвинского водоносного горизонта (C_{1pr}) проходит по линии Бологое – Сычевка – Серебряные Пруды – Зарайск – Шатура. Водовмещающие породы трещиноватые (часто закарстованные) массивные известняки. Зеркало подземных вод удалено от дневной поверхности на 9 м (г. Можайск), на 89 м (у г. Подольск), на 110–150 м (к северо-востоку от Москвы). Интенсивность фильтрации колеблется от 0,4 до 33 м/сут (города Подольск, Торжок, Сычевка), а в районе Селижарово – от 10 до 80 м/сут. На больших глубинах фильтрационные свойства ослабевают (коэффициенты фильтрации составляют 10–0,4 м/сут), что обусловлено уменьшением трещиноватости. Дебит скважин составляет 3–5 м³/сут.

Глубина залегания Алексинско-тарусского водоносного горизонта (C_{1al-tr}) меняется от нескольких метров (в долинах рек) до 110 м на водоразделах. Она увеличивается в северо-восточном направлении, достигая 350–400 м в районе Шатуры и Дмитрова. Водовмещающие породы: трещиноватые известняки и песчаники окского надгоризонта визейского яруса. В кровле водоносного горизонта залегают верейские глины; в подошве – глины тульского горизонта визейского яруса. Преобладание в разрезе каменноугольных отложений трещиноватых известняков с прослоями глин, определяет наличие многопластовой водонапорной системы. К северу от г. Рязань напор в водоносном горизонте изменяется от 30–40 до 150 м. Уровни воды в

артезианских скважинах снижаются (от 60 до 0 м) по направлению к долинам Волги и Оки. Дебит скважин в алексинско-тарусском водоносном комплексе низкий.

Подземные воды верхнедевонских отложений широко распространены в Верхневолжском бассейне, приурочены к морским и прибрежно-морским карбонатным и лагунным терригенным отложениям в пределах Смоленской, Орловской, Липецкой, Тамбовской, части Тульской, Рязанской, Брянской и Тверской областей.

В пределах Верхневолжского региона существует Верхневолжская и Волго-Камская области формирования подземного стока [29].

Подземный сток в Верхневолжском гидрогеологическом районе формируется в пределах Валдайской и Среднерусской возвышенностей. Здесь пресные воды приурочены к закарстованным известнякам и доломитам девонского и каменноугольного возраста, залегающим близко к поверхности под относительно маломощными четвертичными отложениями, а также к мергельно-меловой толще верхнемелового возраста. Благоприятные условия питания, хорошая проницаемость карбонатных отложений, густая и глубоко врезанная эрозионная сеть определяют формирование значительного подземного стока. Максимальная величина подземного стока наблюдается в центральных частях Валдайской возвышенности, в верховьях Волги, в бассейнах рек Цна, Сож и др. (средний модуль подземного стока составляет порядка 2,5–3 л/сек км². Модуль подземного стока несколько меньше (2 л/сек км²) в бассейнах рек Тверца, Вазуза, Жиздра, Упа, Угра, Осетр и Проня.

В центральных частях Московского артезианского бассейна (бассейн р. Москва, верховья рек Протва, Нара) погружение отложений карбона на большую глубину обуславливает увеличение мощности относительно слабопроницаемой толщи мезозойских и четвертичных пород, ухудшению условий питания и разгрузки подземных водоносных горизонтов (среднегодовой модуль подземного стока меньше 2 л/сек км²).

В пределах Верхневолжской, Молого-Шекснинской, Нерльской и Мещерской низменностей отложения четвертичного возраста и песчано-глинистые толщи юры и мела отличает неравномерная и слабая обводненность, что затрудняет питание водоносных горизонтов. Наличие морены и незначительная глубина эрозионных врезов (порядка 25–30 м) снижают интенсивность питания водоносных горизонтов и величину подземного стока (среднегодовые модули равны 1–1,5 л/сек км², а в депрессиях (район Рыбинского водохранилища) она меньше 1 л/сек км²). Величину подземного стока из различных водоносных комплексов характеризует таблица 1.4. Наименьшие модули подземного стока характерны для терригенных отложений триаса (0,1–0,5 л/сек км²) и верхней перми (0,5–1 л/сек км²). Для неогеновых и четвертичных аллювиальных отложений его величина также мала (0,5–1 л/сек км²). Максимальные значения модуля подземного стока присущи районам залегания карбонатных отложений верхней и нижней

перми (соответственно 5–7 и 3–5 л/сек км²). Увеличение доли трещиноватых песчаников в терригенном верхнепермском водоносном комплексе также приводит к повышению (до 3–5 л/сек км²) модуля подземного стока.

Таблица 1.4 – Характеристики водоносных комплексов Верхневолжского бассейна

Водоносный комплекс	Площадь, тыс. км ²	Объем стока, км ³ /год	Расход, м ³ /сек	Средний модуль, л/сек км ²
Девонский	80	2,5	80	1
Каменноугольный	245	10	320	1,3
в том числе нижнекаменноугольный	130	5,8	185	1,4
среднекаменноугольный	65	2,6	85	1,3
верхнекаменноугольный	50	1,6	50	1
Юрско-меловой	140	3	95	0,7
Четвертичный	290	8,2	260	0,9
Всего	1000	33,7	1075	1,08

По условиям формирования ресурсов и химического состава подземных вод выделяются зоны активного водообмена, затрудненного и весьма затрудненного водообмена [30; 31]. Зона активного водообмена характеризуется наличием преимущественно пресных подземных вод. Ее мощность изменяется от нескольких десятков метров на низменных участках территории до 300–400 м в пределах возвышенностей, а в отдельных случаях до 500–700 м. Уменьшение мощности зоны пресных вод характерно для зон с близким залеганием соленосных и гипсоносных водовмещающих отложений к дневной поверхности.

Зона затрудненного водообмена имеет мощность от нескольких десятков до 300–400 м. Нижняя граница зоны находится на глубинах 400–700 м и больше. Увеличение глубины залегания водоносных горизонтов сопровождается изменением бикарбонатного класса подземных вод на сульфатный и хлоридный (обычно натриевой группы). Одновременно возрастает минерализация воды (до 50–100 г/л и больше, вплоть до достижения значений, соответствующих крепким рассолам). Зона весьма затрудненного водообмена соответствует наиболее глубоким частям артезианского бассейна. Ее мощность изменяется от 400–500 до 1600–2000 м. В этой зоне находятся крепкие хлоридно-натриевые и натриево-кальциевые рассолы высокой концентрации.

Максимальное изъятие подземных вод происходит из водоносных горизонтов и комплексов зоны активного водообмена. Значительными естественными ресурсами обладают четвертичные отложения (таблица 1.4), однако они распределены исключительно неравномерно. В зонах сплошного развития флювиогляциальных и древнеаллювиальных песков модуль естественных ресурсов достигает 1,7–2,0 л/сек км². В противоположном случае водообильность четвертичных отложений уменьшается до 0,2–0,3 л/сек км².

2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ ИЗУЧЕННОСТЬ

2.1 Гидрографическая сеть

Бассейн Верхней Волги граничит с бассейном Северной Двины, Невы, Западной Двины, Днепра, Дона, Нижней Волги, Камы (рисунок 2.1). Основные сведения о реках в бассейне Верхней Волги представлены в таблице 2.1. Длина Волги от ее истока до устья Камы составляет 1780 км, площадь водосбора равна 675 тыс. км².

Распределение речной сети по рассматриваемой территории, ее структура и особенности носят различный характер и значительно меняются по территории.



Рисунок 2.1 – Густота речной сети в бассейне Верхней Волги

Таблица 2.1 – Основные сведения о реках в бассейне Верхней Волги длиной не менее 200 км

№	Река	Впадает	Длина реки	Площадь бассейна	Густота речной сети, км/км ²
1	Волга ¹	Каспийское море	3530/1780	1360 000/675 000	0,42
2	Медведица	вдхр. Угличское	259	5570	0,45
3	Молога	вдхр. Рыбинское	456	29 700	0,43
4	Чагодоша	Молога	242	9680	0,34
5	Суда ²	вдхр. Рыбинское	184	13 500	0,35
6	Колпь	Суда	254	3730	0,30
7	Кострома	вдхр. Горьковское	354	16 000	0,61
8	Унжа	вдхр. Горьковское	426	27 800	0,58
9	Нея	Унжа	253	6060	0,51
10	Ока	Волга	1500	245 000	0,37
11	Зуша	Ока	234	6950	0,32
12	Упа	Ока	345	9510	0,38
13	Жиздра	Ока	223	9170	0,47
14	Угра	Ока	399	15 700	0,41
15	Протва	Ока	282	4620	0,47
16	Осетр	Ока	228	3480	0,38
17	Москва	Ока	473	17 600	0,45
18	Проня	Ока	336	10 200	0,35
19	Мокша	Ока	656	51 000	0,35
20	Вад	Мокша	222	6500	0,35
21	Цна	Мокша	451	21 500	0,33
22	Теша	Ока	311	7800	0,31
23	Клязьма	Ока	686	42 500	0,38
24	Нерль	Клязьма	284	6780	0,42
25	Лух	Клязьма	240	4450	0,31
26	Керженец	Волга	290	6140	0,41
27	Сура	Волга	841	67 500	0,47
28	Барыш	Сура	247	5800	0,35
29	Алатырь	Сура	296	11 200	0,58
30	Пьяна	Сура	436	8060	0,69
31	Ветлуга	Волга	889	39 400	0,56
32	Вохма	Ветлуга	219	5560	0,71
33	Уста	Ветлуга	253	6030	0,52
34	Большая Кокшага	вдхр. Куйбышевское	294	6330	0,39
35	Илеть	вдхр. Куйбышевское	204	6450	0,35
36	Свияга	вдхр. Куйбышевское	375	16 700	0,32

Примечания: 1. В числителе указана общая длина и площадь бассейна Волги, а в знаменателе – для створа, расположенного перед устьем Камы; величина порядка реки и густота речной сети также соответствуют этому створу; 2. Река Суда имеет длину менее 200 км, однако в ее бассейне находится р. Колпь, имеющая длину более 200 км.

Распределение речной сети по рассматриваемой территории, ее структура и особенности носят различный характер и значительно меняются по территории.

Верхняя Волга имеет асимметричный правосторонний рисунок речной сети. Большинство основных притоков впадает в Волгу с левого берега, однако ее крупнейшие притоки (Ока и Сура) – правобережные притоки. Площадь правобережных притоков равна 329 тыс. км², а левобережных – 111 тыс. км². Средняя густота речной сети составляет 0,42 км/км². В разных частях бассейна она изменяется в два и более раза: в бассейне р. Колпь густота речной сети равна 0,30, а в бассейне р. Вохма – 0,71 км/км² (рисунок 2.1).

Абсолютное большинство рек региона имеют площадь водосбора менее 1000 км². Только для 98 рек она превышает 2000 км². В соответствии с ГОСТ 19179-73 [32], реки, имеющие площадь водосбора менее 2000 км², считаются малыми водотоками. Гидрологический режим таких водных объектов в существенной мере зависит от местных физико-географических и гидрогеологических условий [26; 33; 34]. Зональные условия формирования стока характерны для средних рек. Их площадь водосбора изменяется от 2000 до 50 000 км². Таких рек в бассейне Верхней Волги 94. Суммарная площадь водосборов рек с длиной более 200 км равна 441 тыс. км² (65,3 % общей площади водосбора Верхней Волги). Больших рек ($F > 50\,000\text{ км}^2$) всего четыре: Волга, Ока, Сура и Мокша.

В гидрографической сети бассейна Верхней Волги достаточно широко представлены *озера* разного генезиса. В регионе находится более 25 тыс. озер (средняя озерность равна 1,5 %). Озера неравномерно распределены по бассейну. Озерность уменьшается с севера на юг и с запада на восток (таблица 2.2), что характерно для всей европейской территории России. Наибольшая озерность отличает бассейн р. Чагодыща – около 2 %. Наиболее крупное озеро региона – Белое ($F_{оз} = 1290\text{ км}^2$, $V_{оз} = 6,2\text{ км}^3$), из которого начинается р. Шексна. Все остальные озера региона значительно меньше по площади акватории и объему воды, находящемуся в их котловинах.

Таблица 2.2 – Распределение озер и болот по бассейнам основных рек региона

№	Река	Площадь бассейна, км ²	Число озер в бассейне	Суммарная площадь акватории, км ²	Озерность, %	Заболоченность, %
1	Медведица	5570	366	8,23	0,15	2
2	Молога	29 700	2885	413	1,39	13
3	Чагодыща	9680	1435	194	2,00	24
4	Суда	13 500	1188	167	1,24	26
5	Колпь	3730	387	12,9	0,35	33
6	Кострома	16 000	96	130	0,81	2
7	Унжа	27 800	158	5,83	0,02	2
8	Нея	6060	32	0,45	0,01	<1
9	Ока	245 000	11065	604	0,25	<1
10	Зуша	6950	340	4,97	0,07	<1
11	Упа	9510	345	29,7	0,31	<1
12	Жиздра	9170	128	2,28	0,02	<1
13	Угра	15 700	213	4,76	0,03	<1
14	Протва	4620	74	1,38	0,03	<1
15	Осетр	3480	182	3,02	0,09	<1
16	Москва	17 600	1111	70,9	0,40	<1
17	Проня	10 200	635	12,4	0,12	<1
18	Мокша	51 000	1910	62,7	0,12	<1
19	Вад	6500	151	3,36	0,05	<1
20	Цна	21 500	1121	37,5	0,17	<1
21	Теша	7800	374	12,2	0,16	<1
22	Клязьма	42 500	4020	130	0,31	<1
23	Нерль	6780	915	14,2	0,21	<1
24	Лух	4450	170	7,49	0,17	<1
25	Керженец	6140	70	4,35	0,07	<1
26	Сура	67 500	2648	50,1	0,07	<1
27	Барыш	5800	61	0,99	0,02	<1
28	Алатырь	11 200	349	7,15	0,06	<1
29	Пьяна	8060	1195	16,4	0,20	<1
30	Ветлуга	39 400	215	18,6	0,05	<1
31	Вохма	5560	41	1,53	0,03	<1
32	Уста	6030	60	1,71	0,03	<1
33	Большая Кокшага	6330	180	15,9	0,25	0
34	Илеть	6450	154	8,17	0,13	0
35	Свияга	16 700	488	10,97	0,07	0

Болота – важная часть гидрографической сети Верхней Волги. Они оказывают влияние на естественную зарегулированность стока и качество речных вод. Средняя заболоченность бассейна Верхней Волги составляет около 4 %. Болота неравномерно распределены по территории бассейна (рисунок 2.2). Наибольшее количество болот находится на севере и северо-западе региона, где природные условия в наибольшей степени способствуют заболачиванию местности. К югу и юго-востоку число болот заметно сокращается. Наибольшая заболоченность характерна для бассейнов рек Чагодыща (24 %), Суда (26 %) и Колпь (33 %). Меньше всего болот в самой южной части региона: в бассейнах рек Большая Кокшага, Илеть и Свияга. Коэффициент заболоченности этих бассейнов близок к нулю.

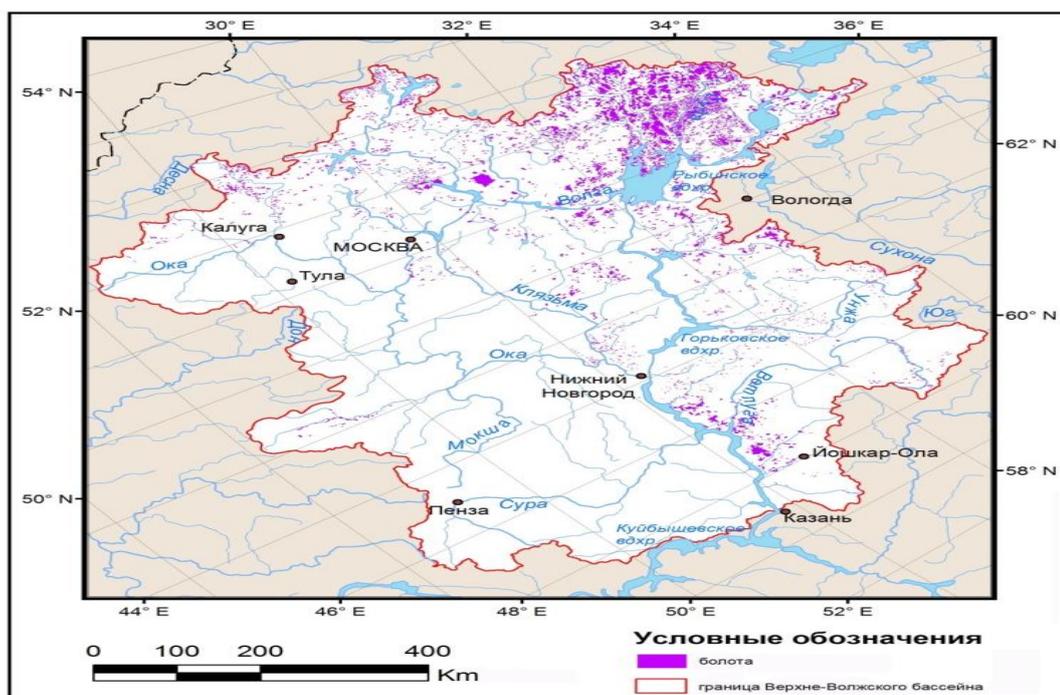


Рисунок 2.2 – Распространение болот в пределах Верхневолжского бассейна

Антропогенная нагрузка на водные объекты. Верхневолжский – регион ЕТР, в котором производится значительная часть промышленной и сельскохозяйственной продукции страны, что определяет высокую степень антропогенной нагрузки на водосборную площадь и водные объекты. Наибольшая нагрузка характерна для Московской области и территории г. Москва. Площадь, занятая застройкой, составляет здесь 6,6 %, а нарушенными землями – 0,78 % (максимальные величины для регионов России). Наименьшей нагрузкой по плотности населения отличаются Вологодская, Кировская, Новгородская и Саратовская области (менее 10 чел/км²), а по площади пашни – части Архангельской, Ленинградской, Вологодской и Новгородской областей. Доля распаханых земель достигает максимума в Курской, Липецкой, Орловской, Тамбовской областях (более 60 %).

Все крупные водохранилища в бассейне Верхней Волги используются комплексно (гидроэнергетика, водный транспорт, лесосплав, водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация). Назначение Иваньковского водохранилища и системы водохранилищ на р. Москва, ее притоках и канала им. Москвы – обеспечение водой Московской городской агломерации. Малые и небольшие водохранилища служат преимущественно для водоснабжения, орошения, рыбного хозяйства, рекреации, отчасти для охлаждения вод тепловых электростанций, промышленного водоснабжения. Большая ширина и малый уклон речных долин определяют значительные размеры водохранилищ. При их заполнении под водой оказалось приблизительно 2 % площади бассейна Верхней Волги. В бассейне Верхней Волги расположено приблизительно 350 водохранилищ, полный объем которых составляет около 60 км³, полезный – 29 км³, а суммарная площадь зеркала – 12 тыс. км² (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Данные об основных водохранилищах в бассейне Верхней Волги

№ п/п	Водохранилище	Водный объект, на котором создано водохранилище	Вид регулирования	Тип водохранилища	Назначение водохранилища	Год ввода в эксплуатацию	Площадь водоема при НПУ, км ²	Полный объем, млн м ³	Полезный объем, млн м ³	Административный район расположения
1	Верхневолжское	Волга, озера Стерж, Вселуг, Пено и Волго	сезонное	озерное	попуски для водного транспорта, водоснабжение, рыбное хозяйство	1845	183	524	466	Тверская область
2	Иваньковское	Волга	сезонное	русловое	энергетика, водный транспорт, водоснабжение, рыбное хозяйство	1937	327	1120	813	Тверская, Московская области
3	Угличское	Волга	сезонное	русловое	энергетика, водный транспорт, водоснабжение, рыбное хозяйство	1939	249	1245	809	Ярославская область
4	Рыбинское	Волга	многолетнее	русловое	энергетика, водный транспорт, водоснабжение, рыбное хозяйст-во, предупреждение наводнений	1941	4550	25 420	16670	Ярославская область
5	Горьковское	Волга	сезонное	русловое	энергетика, водный транспорт, водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация	1961	1591	8815	2782	Горьковская область
6	Чебоксарское	Волга	сезонное	русловое	энергетика, водоснабжение, рыбное хозяй-ство, сельское хозяй-ство, водный транспорт	1982	2181	12 600	2491	Чувашия
7	Шекснинское	Шексна	сезонное	русловое	энергетика, водный транспорт	1964	1670	6520	1850	Вологодская область
8	Можайское	Москва	многолетнее	русловое	водоснабжение, энергетика, обводнение	1963	31	235	221,4	Московская область
9	Рузское	Руза	многолетнее	русловое	водоснабжение, энергетика	1966	32,7	219,8	215,7	Московская область
10	Озернинское	Озерна	многолетнее	русловое	водоснабжение, энергетика	1967	23,1	143,8	140	Московская область
11	Истринское	Истра	многолетнее	русловое	водоснабжение, рекреация, энергетика	1934, 1937	33,6	183	173,5	Московская область
12	Верхнерузское	Руза	многолетнее	русловое	водоснабжение, обводнение		9,4	22	21	Московская область
13	Яузское	Яуза	многолетнее	русловое	водоснабжение, обводнение	1977	51	290,3	130	Смоленская область
14	Вазузское	Вазуза	многолетнее	русловое	водоснабжение, обводнение	1977	106	539	428	Тверская область
15	Икшинское	Икша	сезонное	русловое	водный транспорт, водоснабжение, обводнение, рекреация	1937	5,1	15	8,1	Московская область

Продолжение таблицы 2.3

№ п/п	Водохранилище	Водный объект, на котором создано водохранилище	Вид регулирования	Тип водохранилища	Назначение водохранилища	Год ввода в эксплуатацию	Площадь водоема при НПУ, км ²	Полный объем, млн м ³	Полезный объем, млн м ³	Административный район расположения
16	Пестовское	Вязь	сезонное	руслевое	водный транспорт, водоснабжение, обводнение, рекреация	1937	11,6	54,3	20,2	Московская область
17	Учинское	Уча	сезонное	руслевое	водоснабжение, энергетика	1937	19,3	146,1	50,2	Московская область
18	Пяловское	Уча	сезонное	руслевое	водоснабжение, обводнение, рекреация	1937	6,3	18	9,1	Московская область
19	Клязьминское	Клязьма	сезонное	руслевое	водный транспорт, водоснабжение, энергетика, рекреация	1937	16,2	87	27,1	Московская область
20	Химкинское	Химка	сезонное	руслевое	водный транспорт, энергетика, водоснабжение, обводнение	1937	3,5	29,5	6,76	г. Москва
21	Карамышевское	Москва	суточное	руслевое	водный транспорт, энергетика, водоснабжение	1937	4,35	20	нс	г. Москва
22	Перервинское	Москва	суточное	руслевое	водный транспорт, энергетика, водоснабжение	1936	10,6	50		г. Москва
23	Увдовское	Увody	многолетнее	руслевое	водоснабжение	1939	10,4	83	82	Ивановская область
24	Пекшинское	Пекша	сезонное	руслевое	водоснабжение	1977	4,93	14,4	10,7	Владимирская область
25	НижнеНегочанское	Негочь	сезонное	руслевое	водоснабжение	1965	3,2	10,7	10,3	Тверская область
26	Брыньское	Брынь	сезонное	руслевое	рыбное хозяйство	1968	7,9	14	14	Калужская область
27	Белоомутское	Ока	сезонное	руслевое	водный транспорт, орошение	1915	28	24	нс	Московская область
28	Гидроузел Северка	Москва	сезонное	руслевое	водный транспорт, водоснабжение, орошение, рекреация	1877	4,7	11,1	4,1	Московская область
29	Пруд № 18 Егорьевского рыбокомбината	Цна	сезонное	руслевое	рыбное хозяйство	1967	6,45	12	12	Московская область
30	Сенежское	Сестра	сезонное	руслевое	водоснабжение, рекреация, рыбное хозяйство	-	8,92	32,6	4,2	Московская область
31	Софьино	Москва	сезонное	руслевое	водный транспорт, водоснабжение, орошение, рекреация	1877	6,2	15,2	13	Московская область
32	Шалаховское	Цна	сезонное	руслевое	рыбное хозяйство	1936	7,8	12	12	Московская область
33	Кузьминское	Ока	сезонное	руслевое	водный транспорт, орошение	1915	15	18		Рязанская область
34	Рассыпухинское	Цна	сезонное	руслевое	водный транспорт, орошение		3,8	11		Рязанская область
35	Новомичуринское	Проня	сезонное	руслевое	охладитель, энергетика, орошение, водоснабжение	1973	17,6	64,5	31,7	Рязанская область

Продолжение таблицы 2.3

№ п/п	Водохранилище	Водный объект, на котором создано водохранилище	Вид регулирования	Тип водохранилища	Назначение водохранилища	Год ввода в эксплуатацию	Площадь водоема при НПУ, км ²	Полный объем, млн м ³	Полезный объем, млн м ³	Административный район расположения
36	Любовское	Любовка	сезонное	руслевое	охладитель, орошение, рыборазведение	1936	2,8	14,2	1,8	Тульская область
37	Пронское	Проня	многолетнее	руслевое	водоснабжение, орошение, рекреация	1968	16,2	71,5	66,3	Тульская область
38	Черепецкое	Черепеть	сезонное	руслевое	охладитель, рыборазведение	1953	8,118	36,71	18,47	Тульская область
39	Шатское	Шат	сезонное	руслевое	водоснабжение, орошение, рекреация	1932	12,46	65,65	20,04	Тульская область
40	Щекинское	Упа	сезонное	руслевое	охладитель, водоснабжение, рекреация	1950	5,86	20,75	5,44	Тульская область
41	Велетьминский пруд	Велетьма	сезонное	руслевое	рыбное хозяйство	1869	4,62	11,1	11,1	Нижегородская область
42	Запасной пруд	Железница	сезонное	руслевое	водоснабжение, рекреация	1796	6,58	14	8,65	Нижегородская область

Удельный вес региона в суммарном объеме водохранилищ бассейна Волги составляет 30 %, а по площади зеркала – около 40 %. Основная масса водохранилищ Верхней Волги представляет собой малые водоемы с объемом от 1 до 10 млн м³. Это всего 1 % общего объема водохранилищ бассейна Верхней Волги. Более 90 % суммарного объема воды находится в крупнейших водохранилищах (объем более 1 км³). Они расположены в долине р. Волга: Ивановское, Угличское, Рыбинское, Череповецкое, Горьковское, Чебоксарское.

52 В бассейне Волги объем забранной воды из природных источников изменяется в различные периоды [35; 36], в настоящее время не превышает 10 км³ [37]. Максимальные объемы воды в бассейне Верхней Волги забираются в Московском регионе, Костромской, Нижегородской и Тверской областях. Они особенно велики в Тверской и Костромской областях, где расположены мощные ГРЭС. Большинство тепловых электростанций построено 30–40 лет назад, работают по прямоточной системе водоснабжения и требуют большого объема воды для охлаждения конденсаторов ГРЭС. Большие заборы воды в бассейне Верхней Волги обусловлены также значительным удельным весом предприятий лесной и химической промышленности в структуре природопользования.

Около 30 % водопотребления в бассейне приходится на долю жилищно-коммунального хозяйства. Износ основных средств водопроводно-канализационного хозяйства колеблется от 50 до 70 %. Потери воды при транспортировке воды к потребителям вследствие неисправности труб водопроводной сети, а также аварий в ряде субъектов превышают 30 % объема подаваемой воды.

В поверхностные водные объекты бассейна Верхней Волги ежегодно сбрасывается 9,6 км³ сточных вод, что составляет 60 % их объема в целом в бассейне Волги. Значительная часть сточных вод (примерно 40 %) относится к загрязненным водам. Под влиянием этого фактора существенно ухудшается качество водных ресурсов.

2.2 Гидрологическая изученность

Гидрологическая изученность бассейна Верхней Волги характеризуется числом и продолжительностью действия гидрометрических постов.

Схема расположения гидрологических постов приведена на рисунке 2.3

Бассейн Верхней Волги разделен на следующие подбассейны:

- бассейн р. Волга от истока до Рыбинского водохранилища (включительно);
- бассейн р. Волга от Рыбинского водохранилища до впадения р. Ока;
- бассейн р. Ока;
- бассейн р. Волга от впадения р. Ока до г. Чебоксары (без водохранилища).

Сведения по каждому подбассейну по категориям рек по длине (самые малые, малые, средние и большие) и их числу в каждой категории и числу в процентном отношении к общему количеству водотоков представлены на рисунке 2.4 и в таблице 2.4

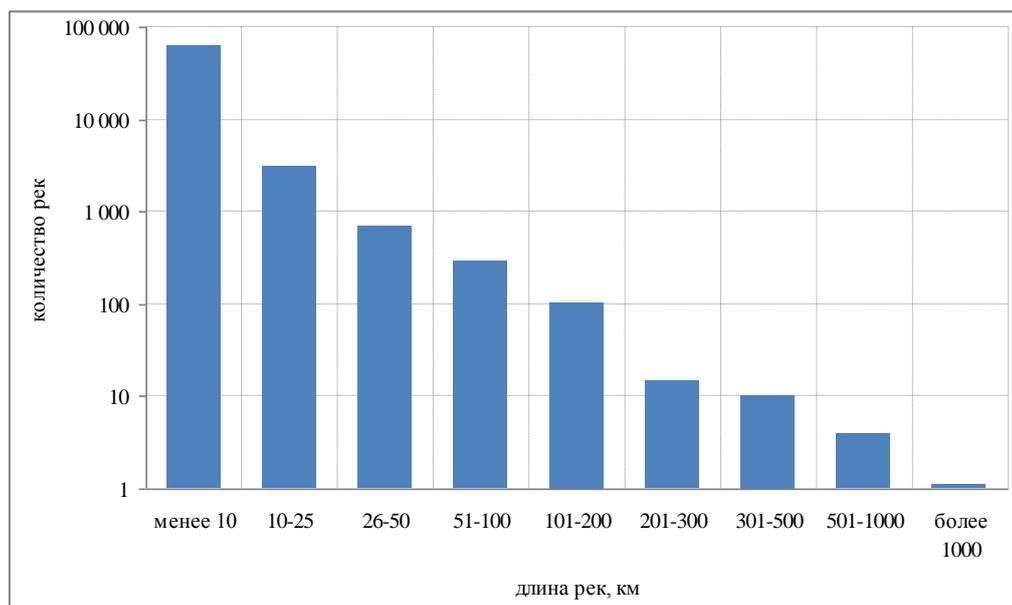


Рисунок 2.4 – Количество водотоков по градациям длины рек (км) в бассейне Верхней Волги

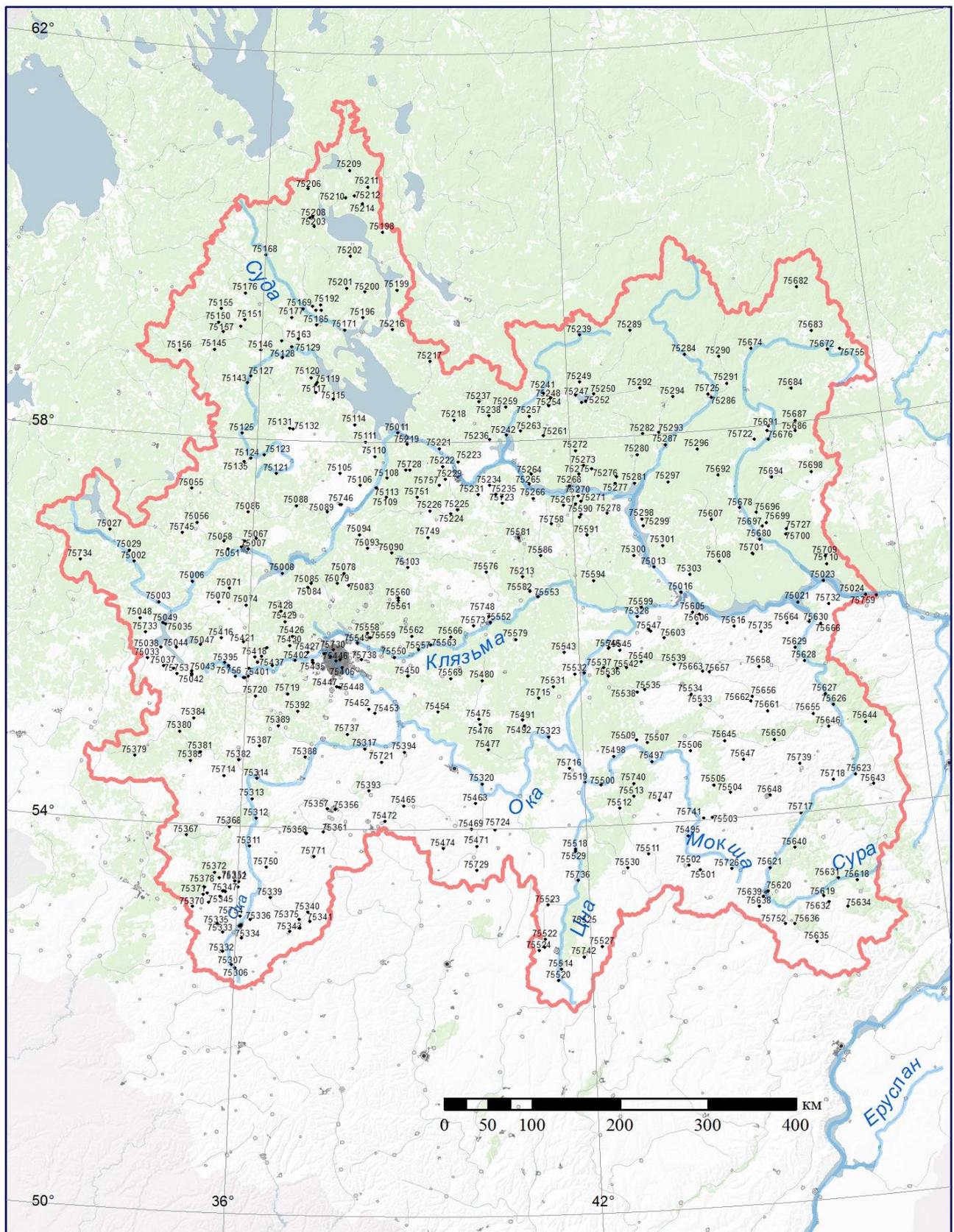


Рисунок 2.3 – Схема расположения гидрологических постов

Таблица 2.4 – Распределение водотоков по градациям их длины рек бассейна Верхней Волги

Градация водотоков по длине, км		Общее количество водотоков и их длина (суммарно), км		% от общего количества водотоков и их общей длины	
		количество	длина, км	% от общего количества водотоков	% от общей длины
Бассейн р. Волга от истока до Рыбинского водохранилища (включительно)					
Самые малые	менее 10	14 373	33 777	94	55
	10–25	694	10 842	5	18
Малые	26–50	159	5567	1	9
	51–100	89	6042	1	10
Средние	101–200	27	3829	0,18	6
	201–300	2	755	0,01	1
	301–500	1	456	0,01	1
	Всего	15 345	61 268	100	100
Бассейн р. Волга от Рыбинского водохранилища до впадения р. Ока					
Самые малые	менее 10	11 357	24 522	95	57
	10–25	425	7720	4	18
Малые	26–50	113	3943	1	9
	51–100	42	2990	0,4	7
Средние	101–200	21	2846	0,2	7
	201–300	1	253	0,01	1
	301–500	2	780	0,02	2
	Всего	11 961	43 054	100	100
Бассейн р. Ока					
Самые малые	менее 10	17 754	44 958	92	49
	10–25	1016	17 856	5	20
Малые	26–50	269	9327	1	10
	51–100	103	6890	1	8
Средние	101–200	41	5547	0,21	6
	201–300	7	1713	0,04	2
	301–500	6	2315	0,03	3
Большие	501–1000	2	1342	0,01	1
	более 1000	1	1500	0,01	2
	Всего	19 199	91 448	100	100
Бассейн р. Волга от впадения р. Ока до г. Чебоксары					
Самые малые	менее 10	17 206	36 199	95	58
	10–25	651	11 348	4	18
Малые	26–50	158	5370	1	9
	51–100	54	3711	0,3	6
Средние	101–200	14	1921	0,08	3
	201–300	5	1305	0,03	2
	301–500	1	436	0,01	1
Большие	501–1000	2	1730	0,01	3
	Всего	18 091	62 020	100	100
Всего по бассейну р. Волга от истока до г. Чебоксары					
Самые малые	менее 10	62 612	139 455	94	54
	10–25	2810	47 766	4	19
Малые	26–50	699	24 207	1	9
	51–100	288	19 633	0,4	8
Средние	101–200	103	14 143	0,2	5
	201–300	15	4026	0,02	2
	301–500	10	3987	0,02	2
Большие	501–1000	4	3072	0,01	1
	более 1000	2	1500	0,003	1
	Всего	66 543	257 789	100	100

На рассматриваемой территории по бассейну Верхней Волги имеется 66 543 водотока общей длиной 257 789 км. Основная доля речной сети приходится на самые малые реки (длиной менее 25 км), количество которых составляет 99 % от общего числа и длина 72 % от суммарной длины всех водотоков (рисунок 2.5).

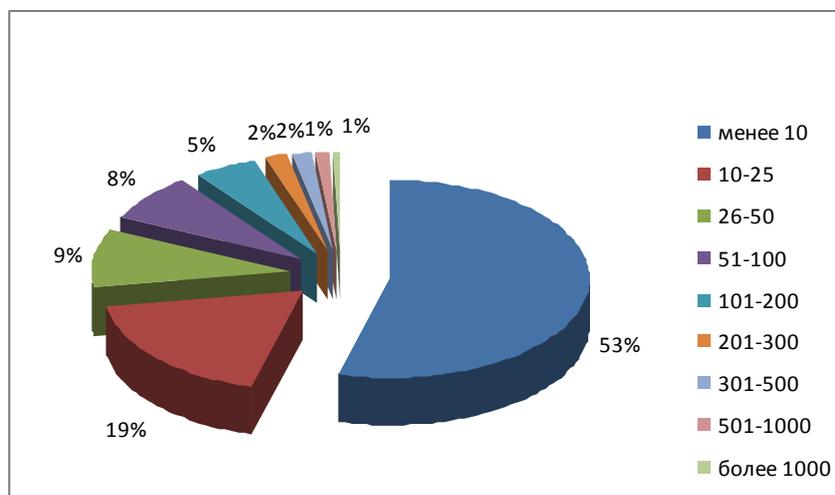


Рисунок 2.5 – Количество водотоков по градациям длины рек (км) в бассейне Верхней Волги

Наблюдения над уровнем и расходами воды на реках бассейна Верхней Волги были начаты в 1876 году. Всего в бассейне действовало 777 постов, период наблюдений по которым колеблется от 1 года до 135 лет. Список постов с периодами наблюдений по каждой характеристике стока в рассматриваемом бассейне представлен в Приложении А.1. На рисунке 2.6 представлены данные по количеству гидрологических постов, работавших в 1900–2010 гг. Как следует из этих данных, в 1940-х годах в рассматриваемом бассейне действовало около 260 постов. В годы Великой Отечественной войны гидрометрическая сеть существенно сократилась, но уже в 1950-х годах она была восстановлена, и в бассейне работало 316 постов. Максимальное количество постов (388) действовало в первой половине 1980-х годов, в 2010 г. работают 246 постов.

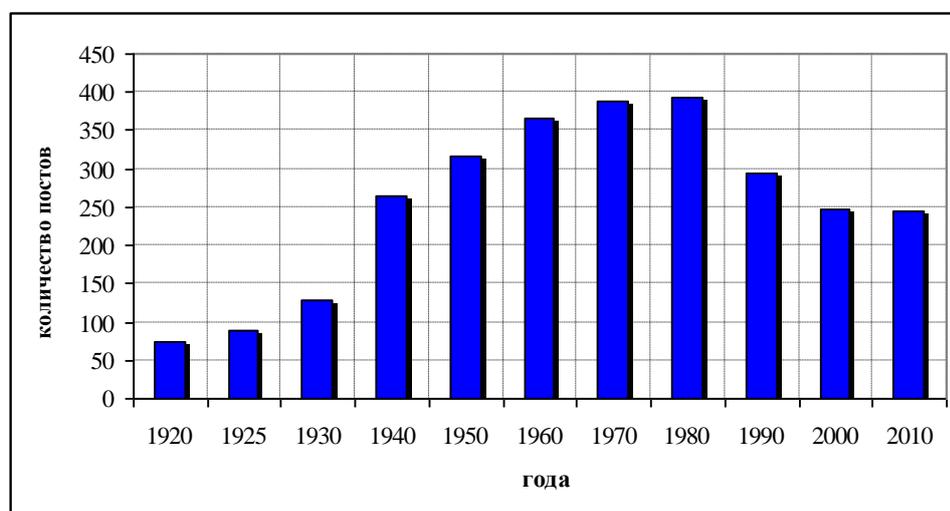


Рисунок 2.6 – Количество гидрологических постов, работавших с 1920 по 2010 год

Количество постов с продолжительностью наблюдений менее 30 лет составляет около 40 %, а с продолжительностью наблюдений более 50 лет примерно 31 % от их общего количества. Семнадцать постов имеют продолжительность наблюдений более 130 лет (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Количество гидрологических постов с различным периодом наблюдений

Распределение гидрологических постов по величине площадей водосборов представлено в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Распределение гидрологических постов по величине площадей водосборов в бассейне Верхней Волги

Характеристика	Площадь водосбора, км ²							Всего
	<10	11–100	101–200	201–500	501–1000	1001–20 000	>200 000	
Число постов	27	101	83	124	116	259	62	772
%	3	13	11	16	15	34	8	100

2.3 Основные гидрографические характеристики водосборов до гидрометрических створов

К основным гидрографическим характеристикам водосборов, влияющим на речной сток, относятся площадь бассейна, гидрографическая длина водотока (расстояние от истока и от устья), средняя высота водосбора, лесистость, заболоченность, озерность, доля урбанизированных территорий, распаханность и закарстованность. В настоящей работе для пунктов гидрологических наблюдений были уточнены актуальные значения заболоченности, лесистости, озерности и доли урбанизированных территорий.

Для определения озерности и доли урбанизированных территорий использовалась открытая карта Open Street Maps (OSM). OSM – свободно распространяемая база данных, предназначенная для создания электронной карты территории всей Земли.

Данные OSM представлены в формате электронной карты, включающей следующие базовые картографические слои: населенные пункты, дороги, административные границы, гидрографию, болотные массивы, растительность. Получаемые из OSM карты двумерные, представленные в проекции Меркатора. В проект заложена функция автоматической генерализации карты в зависимости от используемого масштаба (до 1 : 2000). При расчете морфологических характеристик водосборов использовался наиболее крупный масштаб, доступный для данной территории.

Данные OSM получены и уточнены на основании космоснимков LANDSAT, PROTOTYPE GLOBAL SHORELINES (PGS), TIGER, IRS и др., треков, записанных GPS-устройствами, данных различных правительственных сайтов (таких как GeoBase, MassGIS, и др.).

Данные OSM не обеспечивают необходимой точности вычислений для ряда районов в связи с недостаточностью информации. В этом случае использовались цифровые топографические карты масштаба 1 : 200000. Определение лесистости водосборов проводилось на основе карты GlobCover Land Cover Map. Результаты определения лесистости по данным GlobCover после сравнения с результатами расчетов по спутниковым снимкам LANDSAT для ряда малых водосборов оказались завышены в среднем на 4–6 %. Величины заболоченности определялись по топографической карте масштаба 1 : 1 000 000.

Для малых водосборов использование глобальных покрытий низкого разрешения сопряжено со значительными погрешностями. Вследствие этого определение лесистости, заболоченности, озерности и доли урбанизированных территорий для малых водосборов площадью менее 500 км², относящимся к действующим гидрологическим постам, было проведено по спутниковым снимкам LANDSAT, OrbView и др. Тематическое дешифрование снимков осуществлялось полуавтоматически, с ручным контролем результата.

Сведения о физико-географических характеристиках бассейна Верхней Волги до пунктов гидрологических наблюдений приводятся в Приложении А.2.

3 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений, однородных по условиям формирования речного стока достаточной продолжительности, осуществляется по аналитическим функциям распределения ежегодных вероятностей (кривых обеспеченностей).

Расчеты параметров основных гидрологических характеристик (среднее значение, коэффициенты вариации, асимметрии и автокорреляции) в пунктах гидрометрических наблюдений предусматривают:

- приведение данных наблюдений за стоком и их параметров к многолетнему периоду [4; 6];
- оценку однородности и стационарности данных наблюдений статистическими методами, учитывающими специфику многолетних колебаний основных гидрологических характеристик (асимметрию и автокорреляцию) [4; 8];
- расчет параметров распределения (среднего многолетнего значения, коэффициентов вариации, асимметрии, автокорреляции).

Согласно официальному нормативному документу СП 33-101-2003 [4] в практике инженерно-гидрологических расчетов для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения (кривых обеспеченностей) применяются трехпараметрическое распределение Крицкого – Менкеля при любом соотношении коэффициентов асимметрии (C_s) к коэффициенту вариации (C_v), а также распределение Пирсона III типа при $C_s/C_v \geq 2$. При неоднородности рядов гидрометрических наблюдений (различные условия формирования стока) применяются составные или усеченные кривые распределения ежегодных вероятностей превышения.

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение \bar{Q} , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v , устанавливаются по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом приближенно наибольшего правдоподобия и методом моментов в соответствии с нормативными и рекомендательными документами [4; 5].

3.2 Однородность и стационарность многолетних рядов гидрологических характеристик

В соответствии с [4; 8] необходимым условием объективной статистической обработки гидрологических рядов для получения расчетных значений стока является анализ однородности временных рядов.

При определении статистических параметров распределения гидрологических характеристик и их расчетных значений заданной обеспеченности предполагается однородность исходной информации. Временная однородность рядов может нарушаться в результате влияния хозяйственной деятельности или изменения климатических факторов.

Оценка однородности рядов гидрологических наблюдений осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных гидрологических наблюдений.

Под статистической однородностью понимается принадлежность элементов гидрологического ряда и их выборочных параметров распределения (среднее, дисперсия) к одной совокупности.

Статистическая проверка гипотезы однородности предусматривает установление уровня значимости – достаточно малого значения вероятности, которое характеризует практически невозможное событие.

Оценка однородности рядов наблюдений по критериям состоит в сравнении расчетного значения статистики критерия, полученной по эмпирическим данным, с ее критическим обобщенным значением из таблиц или номограмм при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии. Уровень значимости обычно задается равным 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %. Гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического значения.

В настоящей работе использованы обобщенные значения классических критериев однородности Стьюдента и Фишера применительно к коррелированной во времени и пространстве и асимметричной гидрологической информации [8].

Оценка однородности или стационарности средних значений основных гидрологических характеристик осуществляется по критерию Стьюдента путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение критерия меньше критического при заданном уровне значимости, то гипотеза об однородности или стационарности не отклоняется.

Для анализа многолетних колебаний гидрологических характеристик применяется критерий однородности выборочных дисперсий Фишера, обобщенный для особенностей гидрологической информации [8].

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α (%), если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F < F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n_1 и n_2).

Критические значения статистики Фишера (F^*) в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной ($r(1)$) и межрядной корреляции (R) и коэффициентах асимметрии при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$) приведены в [8].

При анализе однородности средних значений и дисперсии ряда исходный ряд разбивается на две совокупности (или равных, или в точке предполагаемого и обоснованного изменения стока в результате антропогенного или климатического воздействия).

Поскольку в результате выполненных в последнее время исследований [38–43] установлено, что со второй половины 1970-х годов в бассейне Волги произошли существенные изменения водного режима рек и условий его формирования, обусловленные влиянием климатических факторов, в настоящей работе оценка однородности характеристик стока производилась на основе выборочных параметров распределения (среднее, дисперсия) за 1978–2010 гг. и предшествующий многолетний период. Уровень значимости принят равным 5 %.

При оценке однородности основных гидрологических характеристик не использовались данные по гидрологическим постам, выше которых имеются водохранилища сезонного или многолетнего регулирования.

3.3 Определение расчетных гидрологических характеристик при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений

При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений (различные условия формирования стока) применяются усеченные и составные кривые распределения вероятностей ежегодного превышения [4, 8]. При наличии неоднородности исходных данных гидрометеорологических наблюдений, когда рассматриваемый ряд состоит из неоднородных элементов гидрометеорологического режима, эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливаются отдельно для каждой однородной совокупности. [4; 8] и далее рассчитывается составная кривая распределения.

Классическим примером подобных расчетов являются максимальные расходы воды весенних половодий и дождевых паводков, когда в каждом году имеют место и максимальный расход воды весеннего половодья и дождевых максимумов стока.

В последние десятилетия на некоторых реках Волги наблюдается неоднородность стокowych рядов, связанная с влиянием климатических факторов, в частности с повышением температуры

воздуха [38]. Происходит внутригодовое перераспределение стока, проявляющееся в увеличении минимального стока за летний и зимний периоды и уменьшению максимальных расходов весеннего половодья.

Оценка расчетные характеристики стока по данным наблюдений только за последний период не является правомочной, так как продолжительность ряда за эти годы недостаточна и наблюдаемые изменения, возможно, обусловлены естественными циклическими колебаниями климата. Современное состояние знаний о климатических условиях будущего имеет очень большой уровень неопределенности, особенно в отношении факторов, определяющих формирование экстремальных расходов воды. Поэтому определение расчетных параметров только по данным наблюдений за последний период может привести к значительным погрешностям расчетов при использовании этих результатов в водохозяйственной практике. В связи с этим в настоящей работе использовались данные наблюдений за весь имеющийся период, а в случае неоднородности стоковых рядов и при оценке параметров кривых распределений применялись **составные кривые обеспеченности** в соответствии с работами [4; 8].

3.4 Погрешности определения расчетных параметров гидрологических характеристик

Расчетные значения стока заданной вероятности ежегодного превышения (значения стока заданной обеспеченности) представляют собой конечный результат в инженерно-гидрологических расчетах различных гидрологических характеристик.

При использовании аналитических функций распределения ежегодной вероятности превышения (кривых обеспеченностей) возникает задача оценки точности произведенных расчетов.

Параметры аналитических кривых распределения рассчитываются по ограниченному во времени гидрометрическим наблюдениям и в связи с этим рассчитываются с погрешностями [44; 45], которые учитывались при расчетах параметров и кривых обеспеченности основных гидрологических характеристик. В гидрологических расчетах оценка точности выборочных квантилей за пределами наблюденного ограниченного ряда представляет наибольший интерес, так как именно эти расчеты, как правило, используются в практике гидротехнического строительства.

Погрешности определения расчетных параметров гидрологических характеристик обуславливаются ограниченным объемом исходных данных наблюдений и недостаточной точностью аппроксимации эмпирических данных аналитическими кривыми распределения основных гидрологических характеристик. Точное аналитическое решение определения погрешностей расчета параметров и значений стока заданной обеспеченности отсутствует. Частичное решение этого вопроса основывается на использовании многочисленных формул определения средних квадратических погрешностей выборочных квантилей, обобщенных в [44], которые не однозначно решают этот вопрос.

Абсолютная средняя квадратическая погрешность выборочного среднего значения ряда, рассчитанная методом моментов, учитывающая только длину ряда определяется по формуле:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}, \quad (3.1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение выборки, n – длина выборки (ряда).

Абсолютная средняя квадратическая погрешность коэффициента вариации определяется по формуле:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v \sqrt{1 + C_v^2}}{\sqrt{2n}} \quad (3.2)$$

Необходимо отметить, что указанные формулы не учитывают асимметрию ряда и внутрирядную корреляцию.

В настоящей работе для определения погрешностей расчетов использовались данные, полученные в результате моделирования методом статистических испытаний (метод Монте-Карло), доведенные до табличного вида [44] и реализованные в программном комплексе инженерно-гидрологических расчетов HydroStatCalc [9].

Метод статистических испытаний позволил получить полные сведения о средних квадратических погрешностях выборочных параметров и расчетных значений стока заданных обеспеченностей (квантилей распределения).

Средние значения, полученные по выборкам ограниченной длительности, имеют положительную асимметрию, увеличивающуюся с увеличением коэффициента вариации C_v , коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда \textcircled{R} и отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v . С увеличением объема исходной информации погрешности расчета среднего значения уменьшаются.

Выборочные коэффициенты вариации имеет положительную асимметрию, которая увеличивается с увеличением коэффициента вариации, отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации и коэффициента автокорреляции.

Таким образом, случайные средние квадратические погрешности выборочных параметров распределения (среднего значения, коэффициентов вариации, автокорреляции, принятого в расчет отношения C_s/C_v) и значений стока заданных обеспеченностей (квантилей) существенно зависят от объема данных в рядах наблюдений, а также от принятого отношения C_s/C_v . В настоящей работе средние квадратические погрешности параметров распределения и расчетных значений стока заданной обеспеченностей приводятся в таблицах Приложения А.

3.5 Технологическое обеспечение инженерных гидрологических расчетов

Определение параметров основных гидрологических характеристик многолетних рядов в пунктах гидрометрических наблюдений выполнено с использованием сертифицированной автоматизированной системы инженерных гидрологических расчетов, представляющей собой комплекс основных вычислительных программ [9]. Эта система расчетов является диалоговой, содержит средства управления действиями программ, обеспечивает экранный вывод информации для выбора окончательных решений при выполнении расчетов и предусматривает:

1. Восстановление отсутствующих данных наблюдений за более ранние годы по действующим гидрометрическим пунктам наблюдений, за более поздние годы для закрытых водомерных постов и в период пропусков водомерных наблюдений по основным гидрологическим характеристикам по всем гидрометрическим постам за многолетний период [4; 6];

2. Подготовку автоматизированным путем архивов на технических носителях данных по основным гидрологическим характеристикам, включая восстановленные гидрологические данные, за весь многолетний период с оценкой случайных средних квадратических погрешностей за каждый восстановленный год;

3. Оценку однородности и стационарности наблюдаемых и восстановленных данных по основным гидрологическим характеристикам с использованием обобщенных критериев однородности на случай асимметричной и коррелированной во времени и пространстве гидрологической информации, анализа трендов и доверительных границ кривым обеспеченности;

4. Определение расчетных гидрологических характеристик по однородным и неоднородным данным наблюдений и с учетом исторических катастрофических сведений по основным гидрологическим характеристикам;

5. Анализ полученных результатов расчета на основе гидролого-генетических и статистических методов.

В рамках данной работы вычислительный комплекс усовершенствован и позволил реализовать алгоритм расчета определения погрешностей расчета параметров и расчетных значений стока заданной обеспеченности основных гидрологических характеристик. Более подробная информация о технологии определения расчетных гидрологических характеристик содержится в работе [9].

3.6 Методика определения внутригодового распределения стока рек

Определение расчетного внутригодового распределения стока рек производится согласно [4; 5; 6; 7]. Основным методом обобщения данных по внутригодовому распределению стока является составление районных схем межсезонного и внутри сезонного распределения стока, необходимых для определения расчетного календарного распределения месячного стока в характерном по

водности году исследуемой неизученной реки. Межсезонное распределение стока выражается в долях от годового стока, а внутрисезонное распределение стока – в долях от стока соответствующего сезона. В зависимости от характера решаемой практической задачи и принятого в расчетах метода определения внутригодового распределения стока для района исследования (или района проектирования) могут быть построены различные расчетные схемы. Общим при их установлении является выявление и учет основных природных факторов (площадь водосбора и озерность на равнинах и плоскогорьях, средняя высота водосбора – в пересеченных горных районах).

В настоящем справочнике определение расчетного внутригодового распределения стока производится следующими методами:

- среднего распределения стока за годы характерной градации водности;
- реального года.

При расчетах внутригодового распределения стока рек используются данные о среднемесячных расходах воды.

Расчеты внутригодового распределения стока производят по водохозяйственным годам (ВГ). За начало водохозяйственного года принимается наиболее ранняя дата наступления многоводной фазы с округлением до месяца.

За начало водохозяйственного года принимался первый месяц, для которого средняя многолетняя величина месячного расхода превышает норму годового стока.

В зависимости от типа водного режима реки и преобладающего вида ее использования водохозяйственный год делят на два различающихся по длительности периода: лимитирующий (ЛП) и нелимитирующий (НП), а лимитирующий период соответственно на два сезона: лимитирующий (ЛС) и нелимитирующий (НС). Границы сезонов назначались едиными для всех лет с округлением до месяца.

В соответствии с [4; 5; 6; 7] выделялись следующие пять групп водности:

- очень многоводные годы ($P < 16,7 \%$);
- многоводные годы ($16,7 \% \leq P < 33,3 \%$);
- средние по водности годы ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$);
- маловодные годы ($66,7 \% < P \leq 83,3 \%$);
- очень маловодные годы ($P > 83,3 \%$).

При расчете внутригодового распределения стока методом **«среднего распределения стока за годы характерной градации водности»** формируется ряд годовых объемов стока. Дальнейший расчет производится в следующем порядке:

- полученный ряд ранжируется и для каждого члена ранжированного ряда определяется его эмпирическая обеспеченность;

- в зависимости от периода наблюдений исходного ряда и расчетной обеспеченности отбираются годы соответствующей группы водности;

- по этой группе лет рассчитываются средние месячные значения объемов стока и выражаются в долях (или процентах) от среднегодового объема стока для данной группы. Полученные значения принимаются в качестве модели относительного внутригодового распределения стока;

- расчетное распределение стока вычисляют путем умножения месячных долей стока на годовой объем стока расчетной вероятности превышения, определяемый по аналитической кривой обеспеченности.

При использовании метода «реального года» формируется три ряда, состоящих из ежегодных объемов стока за водохозяйственный год, лимитирующий период и лимитирующий сезон. При необходимости формируется четвертый ряд – из объемов стока за лимитирующий месяц (ЛМ). Дальнейший расчет производится в следующем порядке:

- каждый из полученных рядов ранжируется и для каждого члена ранжированного ряда определяется его эмпирическая обеспеченность;

- для каждого из рядов в соответствии с их длительностью и в зависимости от расчетной обеспеченности отбираются годы соответствующей группы водности;

- выбирается реальный водохозяйственный год, для которого эмпирические обеспеченности объемов стока за ВГ, ЛП, ЛС и ЛМ наиболее близки к расчетной обеспеченности. Для объективного выбора такого года используется следующий критерий:

$$\Delta P_j = (P_{\text{вг}} - P_{\text{расч}})_j^2 + (P_{\text{лп}} - P_{\text{расч}})_j^2 + (P_{\text{лс}} - P_{\text{расч}})_j^2 + (P_{\text{лм}} - P_{\text{расч}})_j^2, \quad (3.3)$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная вероятность превышения, принимаемая одинаковой для всех расчетных интервалов времени; $P_{\text{вг}}$, $P_{\text{лп}}$, $P_{\text{лс}}$, $P_{\text{лм}}$ – значения вероятностей превышения стока за выбранный водохозяйственный год, его лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц; ΔP_j – суммарное отклонение, которое определяют для каждого из исследуемых водохозяйственных лет, вошедших в расчетную группу водности.

В качестве расчетного года принимают тот водохозяйственный год, для которого по формуле (3.3) получено наименьшее значение ΔP_j .

Месячные объемы стока расчетного водохозяйственного года выражаются в долях (или процентах) от объема годового стока и принимаются в качестве модели относительного внутригодового распределения стока.

Расчетное распределение стока вычисляют путем умножения полученных месячных долей стока на годовой объем стока расчетной вероятности превышения, определяемый по аналитической кривой обеспеченности.

Выполненный ранее в ФГБУ «ГГИ» анализ многолетних колебаний месячного стока рек бассейна реки Волги позволил установить, что начиная со второй половины 1970-х годов – начала 1980-х годов существенно повысился сток в меженные (особенно зимние) месяцы. Причиной этого являются происходящие в бассейне климатические изменения. В связи с этим расчеты внутригодового стока были выполнены по вариантам:

а) внутригодовое распределение стока и статистические параметры сезонного стока определялось по данным за весь период наблюдений.

Использование всей имеющейся гидрологической информации при определении расчетного внутригодового распределения стока для водохозяйственного и строительного проектирования обеспечивает «запас прочности», поскольку он включает все наблюдаемые ранее распределения водности внутри года, определяемые конкретными погодными условиями, которые могут повториться в будущем;

б) внутригодовое распределение стока и статистические параметры сезонного стока определялось по данным наблюдений за период 1946–2010 гг., в течение которого производились наблюдения по большинству гидрологических постов принятых для расчетов;

в) расчеты внутригодового распределения и статистические параметры сезонного стока определялись по данным наблюдений за периоды 1946–1977 гг. и 1978–2010 гг., учитывая, что на большинстве рек рассматриваемого бассейна резкие изменения в динамике месячного стока произошли с конца 1970-х годов. Полученные расчетные значения характеризуют внутригодовое распределение стока, соответствующее современным климатическим условиям. Для сравнения с предыдущим периодом приводятся данные по внутригодовому распределению стока за 1946–1977 гг.

В данном справочнике также выполнены расчеты и анализ коэффициента естественной зарегулированности стока (ϕ), который является важным комплексным параметром, характеризующим особенности внутригодового распределения стока рек и его генезис. Он соответствует доле «базисного» стока в годовом объеме стока. Численно коэффициент ϕ равен отношению площади гидрографа, расположенной ниже ординаты среднегодового расхода (базисный сток), к общей площади этого гидрографа (годовой сток).

3.7 Методика картирования расчетных параметров основных гидрологических характеристик

Пространственное обобщение расчетных параметров основных гидрологических характеристик проводилось с помощью метода гидрологического картографирования. Разработка карт параметров проводилась в несколько этапов:

- выбор пунктов гидрологических наблюдений, данные которых использовались при построении карт параметров. Для построения карт отбирались водосборы средних рек с

площадью водосбора от 2000 до 50 000 км². Расчетные параметры основных гидрологических характеристик определялись для более 700 водосборов на основе данных наблюдений за многолетний период (с начала наблюдений по 2010 г);

- оконтуривание водосборов и расчет координат их центров тяжести.

Для расчетов координат центров тяжести водосборов каждый бассейн оконтуривался в геоинформационной системе (ГИС) в виде отдельного полигона по топографическим картам масштаба 1 : 100 000. Проверка точности построения контура проводилась путем сравнения площадей бассейнов, определенных с помощью ГИС и приведенных в справочниках гидрологической изученности и ОГХ. Средняя погрешность определения площади водосбора в ГИС по сравнению со площадями водосборов, приведенными в справочниках, составила менее 0,5 %. Расчет площади водосборов проводился с помощью уравнения (3.4). Перед вычислением площади слои карты переводились в равновеликую проекцию:

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) , \quad (3.4)$$

где F – площадь водосбора, км²; x – долгота точки-узла полигона, y – широта точки-узла полигона, i – порядковый номер узла, n – общее количество узлов в полигоне.

Расчет координат центров тяжести водосбор проводился по уравнениям (3.5) и (3.6)

$$C_x = \frac{1}{6F} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) , \quad (3.5)$$

$$C_y = \frac{1}{6F} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(y_i x_{i+1} - y_{i+1} x_i) , \quad (3.6)$$

где C_x и C_y – долгота и широта центра тяжести водосбора;

- привязка параметров, подлежащих картографированию, к соответствующим центрам тяжести водосборов;
- анализ закономерностей пространственной изменчивости параметров, корректировка данных путем исключения выпадающих точек;
- построение изолиний расчетных параметров основных гидрологических характеристик.

Пространственная интерполяция выполнялась сначала полуавтоматическим способом (методом естественной окрестности [46; 47]), затем – вручную, с учетом особенностей распределения параметров в пределах конкретных природных зон. При построении карт учитывалось распространение карстовых пород, высотная поясность, а также закономерности пространственного распределения гидрологических величин по широте.

В результате работ был сформирован комплект карт, которые приводятся в соответствующих разделах справочника.

3.8 Уточнение параметров распределения гидрологических характеристик методом объединения данных наблюдений по группе постов

Уточнение параметров распределения гидрологических характеристик рекомендуется также методом объединения данных наблюдений по группе постов в пределах однородных в гидрологическом отношении районов. [4; 48–52].

В связи с недостаточностью гидрологической информации в современной гидрологической практике рекомендуется использовать приемы совместного анализа по группе рек с целью увеличения числа анализируемых данных.

Метод группирования данных с применением критерия оценки соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации с помощью методики совместного анализа рекомендован СП 33-101-2003 [4]. Основные идеи этого метода были разработаны С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем [48].

В основе совместного анализа лежат представления о том, что колебания стока по годам подчиняются определенным распределениям вероятностей, которые существенно не изменяются на протяжении периодов, для которых производятся расчеты, а также что колебания стока совместно исследуемых бассейнов статистически независимы хотя бы частично.

Случайные колебания гидрологических характеристик подчиняются вероятностным закономерностям, обнаруживая общие черты для географически близких бассейнов.

Различия между размерами, ландшафтом и климатом совместно исследуемых бассейнов сглаживаются путем приведения характеристик стока к единым условиям его формирования с помощью зависимостей, связывающих сток с морфометрическими, ландшафтными и климатическими факторами.

При анализе элементов режима, распределения вероятностей которых на разных объектах не вполне одинаковы (а это основной случай групповой оценки), требуется приведение характеристик стока к единым условиям его формирования. Приводке подвергаются параметры изучаемых характеристик стока – среднее, коэффициенты вариации и асимметрии или квантили (величины определенных вероятностей превышения).

Простейшие приемы приводки заключаются обычно в переходе от расходов воды к модулям стока и последующей редукции, т. е. использовании зависимостей типа:

$$q = \frac{A}{F^m}, \quad (3.7)$$

где q – модуль стока, F – площадь водосбора, m – числовой параметр, A – характеристика, рассматриваемая как приведенная к единым условиям формирования стока.

Гидрологическая характеристика, приведенная к единым условиям формирования (модуль стока с единичной площади, коэффициент асимметрии, коэффициент автокорреляции неозерных

рек, квантиль заданной обеспеченности и т. д.) является случайной величиной, распределение которой в существенной мере определяется объемом независимой информации.

Это распределение, называемое выборочным распределением, носит сложный характер, но, ввиду ограниченности периода наблюдений (выборки), в гидрологических расчетах ограничиваются использованием его двух параметров: среднего значения и среднеквадратического отклонения (рассеяние).

В качестве среднего значения в статистических выводах обычно принимается сама выборочная оценка исследуемого параметра (уже упоминавшийся приведенный модуль, асимметрия и пр.). Эти оценки, характеризующие сток с отдельных бассейнов, содержат не устраненные приводкой различия в условиях его формирования и подчиняются некоторому распределению вероятностей.

Характеристики стока каждого из бассейнов рассматриваемой группы отличаются от характеристик других бассейнов по двум причинам. Первая из них – стохастический характер и неполная синхронность колебаний метеорологических факторов в каждом из бассейнов, даже если они климатически однородны. Этой причиной обусловлена случайная составляющая $\varepsilon_{\text{случ.}}$. Вторая причина — различие в ландшафтах и климате совместно исследуемых водосборов, обуславливает появление географической составляющей $\varepsilon_{\text{геогр.}}$ [4].

Полное рассеяние оценки $\varepsilon_{\text{полн.}}$, в силу независимости причин, определяется в виде:

$$\varepsilon_{\text{полн.}}^2 = \varepsilon_{\text{случ.}}^2 + \varepsilon_{\text{геогр.}}^2 \quad (3.8)$$

Случайная составляющая рассеяния оценок вычисляется по теоретическим формулам или путем статистических испытаний как осредненная дисперсия оценок этих параметров по отдельным объектам.

Соотношение между случайной и географической составляющими определяет целесообразный состав коллектива объектов, обрабатываемых методом группового оценивания. При увеличении числа совместно анализируемых объектов величина случайной ошибки среднего по ансамблю значения уменьшается. В противоположность этому географическая составляющая должна увеличиваться за счет вовлечения объектов, расположенных в пределах более обширной географической области, условия формирования стока которых, различаются более существенно. Приемлемым следует считать состав ансамбля, в котором географическая составляющая не превосходит случайной:

$$\varepsilon_{\text{геогр.}} \leq \varepsilon_{\text{случ}} \quad (3.9)$$

Порядок выполнения группового анализа (с учетом пространственной скоррелированности данных наблюдений) проводится согласно [4; 5].

Для совместного анализа рекомендуется отбирать гидрологические посты, для которых выполняются следующие условия:

1. Площадь водосборов не превышает 50 000 км²;
2. Ряды наблюдений за стоком имеют продолжительность более 30 лет;
3. Пункты наблюдений относительно равномерно распределены по району;
4. Данные наблюдений по возможности статистически независимы друг от друга.

Если для выделенного подрайона географическая составляющая дисперсии оказывается меньше случайной, то совокупность рядов можно считать однородной, а объединение правомерным. На следующем шаге к однородной группе присоединяется один из ближайших постов и проверяется выполнение условия (3.3). Объединение постов в подрайон заканчивается, когда условие (3.3) перестает выполняться.

Точность расчета статистических характеристик по объединенным данным наблюдений характеризуется стандартной ошибкой $\varepsilon_{cp.}$:

$$\varepsilon_{cp.}^2 = \frac{\varepsilon_{сл.}^2}{k} + \varepsilon_{геогр.}^2, \quad (3.10)$$

где: k – число совместно анализируемых объектов, $\varepsilon_{сл.} / k$ – стандарт средней из k оценок.

4 ГОДОВОЙ СТОК

4.1 Характеристика годового стока

Годовой сток является интегральной характеристикой речного стока и позволяет судить о водных ресурсах речных бассейнов и целых регионов. Он изменяется под влиянием климатических условий и антропогенных факторов.

Годовой сток рек бассейна Верхней Волги формируется высоким половодьем, низкой летней меженью, прерываемой дождевыми паводками и зимней меженью. В последнее время на реках бассейна Верхней Волги часто происходят зимние паводки, вызванные таянием снега.

Анализ средних годовых расходов воды рек бассейна Верхней Волги показал, что многолетние колебания годового стока рек имеют циклический характер, выражающийся в чередовании групп маловодных и многоводных лет. Согласно [38], «в результате произошедших изменений сезонного стока на преобладающей части территории России, годовой сток в последние десятилетия не изменился существенно, происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости», что подтверждается статистическим анализом однородности.

4.2 Исходные данные

Исходными материалами для анализа характеристик годового стока рек бассейна Верхней Волги послужили ежегодные данные по 462 постам, в том числе и ранее закрытым, с рядами наблюдений от 1 до 130 лет.

Наибольшая площадь водосбора в имеющемся массиве данных составляет 188 000 км² – пост р. Ока – г. Муром, наименьшая 3,25 км² – р. Красница – д.Потешиха. Средняя продолжительность наблюдений за годовыми расходами воды составляет 36 лет. Самые продолжительные наблюдения за стоком производились с 1882 г. на р. Ока – г. Калуга и р. Ока – г. Муром. Период наблюдений по 32 постам имеют продолжительность менее 6 лет. Периоды наблюдений за годовым стоком рек бассейна представлены в Приложении А.1.

Анализ исходной информации по годовому стоку показал, что максимальные годовые расходы воды на реках наблюдались в 1966, 1990, 1994, 1998 и 2004, 2009 гг. Большинство случаев экстремально низкого годового стока на реках бассейна наблюдалось в 1970-е годы (1972–1977 гг.). В Приложении А.3 даны результаты анализа по каждому гидрологическому посту: период и число лет наблюдений; характерные значения годового стока за период наблюдений: средние многолетние расходы воды, максимальный и минимальный расход в наблюденном ряду и год, в котором он наблюдался.

Исходные данные наблюдений рядов годового стока были приведены к многолетнему периоду, согласно методики изложенной в [4–6]. В результате приведения продолжительность рядов годового стока увеличилась в среднем на 36 лет.

4.3 Однородность и стационарность

По многолетним рядам годового стока выполнена оценка однородности средних значений и дисперсий по обобщенным на случай асимметрии и автокорреляции критериям Стьюдента и Фишера. На основе анализа результатов установлено, что годовой сток рек бассейна Верхней Волги практически однороден, что подтверждается графиками, представленными в качестве примера на рисунке 4.1. Неоднородны по критериям Стьюдента и Фишера примерно 5 % наблюдений по рассматриваемым рядам годового стока. Неоднородность характерна для рек с малыми площадями водосбора. Горизонтальной линией показано среднее значение за период наблюдения. Цифра на графике – среднее многолетнее значение годового стока, м³/с.

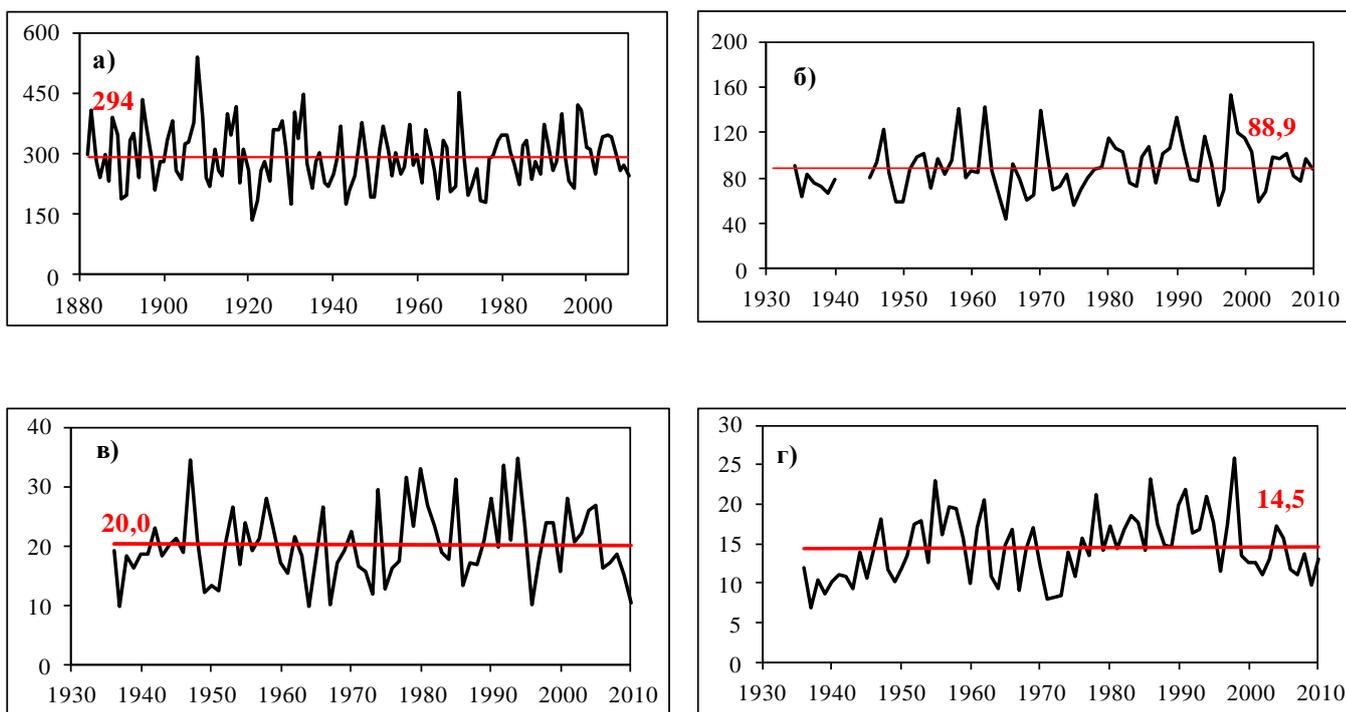


Рисунок 4.1 – Многолетние колебания годовых расходов воды (м³/с)

Горизонтальной линией (красный цвет) показано среднее значение за период наблюдений, цифра на графике – среднее многолетнее значение годового стока, м³/с; а) р. Ока – г. Калуга ($F = 54\,900 \text{ км}^2$), б) р. Угра – пгт Товарково ($F = 15\,300 \text{ км}^2$), в) р. Керженец – с. Хахалы ($F = 3\,630 \text{ км}^2$); г) р. Обнора – с. Шарна ($F = 1\,800 \text{ км}^2$)

4.4 Расчетные параметры распределения

По рядам годового стока, приведенным к многолетнему периоду, определены параметры распределения (среднее, коэффициенты вариации и асимметрии, коэффициент автокорреляции) и значения годового стока заданной обеспеченности в соответствии с разделом 3 данного отчета. При расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности использованы аналитические кривые обеспеченности (Крицкого – Менкеля, Пирсона III типа).

Расчетные параметры кривых обеспеченности и значения годового стока заданной вероятности превышения от 1 до 99 %, определенные по рядам, приведенным к многолетнему

периоду с учетом восстановленных данных по 2010 год включительно, представлены в Приложении А.3. Также в таблице представлены среднеквадратические погрешности расчетных параметров и обеспеченных значений среднегодового стока рек бассейна.

Среднемноголетние значения модулей годового стока рассчитанные по рядам, приведенным к многолетнему периоду, изменяются для рек данного бассейна от 2,69 л/сек км² до 13,2 л/сек км². Средняя квадратическая погрешность расчета среднемноголетнего модуля изменяется в пределах от 2 до 15 %, в среднем ошибка составляет 5 %.

Коэффициенты вариации годового стока (C_v) рек бассейна Верхней Волги изменяются от 0,16 до 0,46, а для преобладающего числа пунктов – от 0,20 до 0,35. Средние квадратические относительные погрешности расчетов коэффициентов вариации изменяются в пределах от 3 до 25 %, в среднем ошибка составляет 10 %.

Наибольшие погрешности расчетных параметров характерны для рек с небольшим периодом наблюдений и малыми площадями водосборов.

Коэффициент автокорреляции (коэффициент корреляции между стоком смежных членов ряда), характеризующий переходящую из года в год влагу в бассейнах рек, изменяется от 0,02 до 0,52. Для большинства створов коэффициент автокорреляции составил 0,25 – 0,30.

4.5 Карты расчетных параметров

На основании полученных расчетных параметров годового стока рек выполнено построение карт:

- среднего многолетнего модуля стока;
- коэффициента вариации;
- значений соотношения коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации.

При построении карт использовались ГИС-технологии. Картирование параметров осуществлялось согласно методике раздела 3.7.

Для построения карты среднемноголетнего значения (норма) (л/сек км²) годового стока использованы значения модулей стока средних по площади водосборов рек. При наведении изолиний не приняты данные по малым водосборам, сток которых зависит от местных условий.

Карта среднего многолетнего значения годового стока (л/сек км²) для рек бассейна Верхней Волги представлена на рисунке 4.2.

Среднемноголетние значения модулей годового стока изменяются для рек данного бассейна от 3 л/сек км² на юго-востоке до 9 л/сек км² на северо-западе района. В соответствии со сменой географических зон модули годового стока имеют зональное распределение. На фоне общего зонального распределения стока по территории в районе Валдайской возвышенности наблюдаются области повышенного стока до 11 л/сек км².

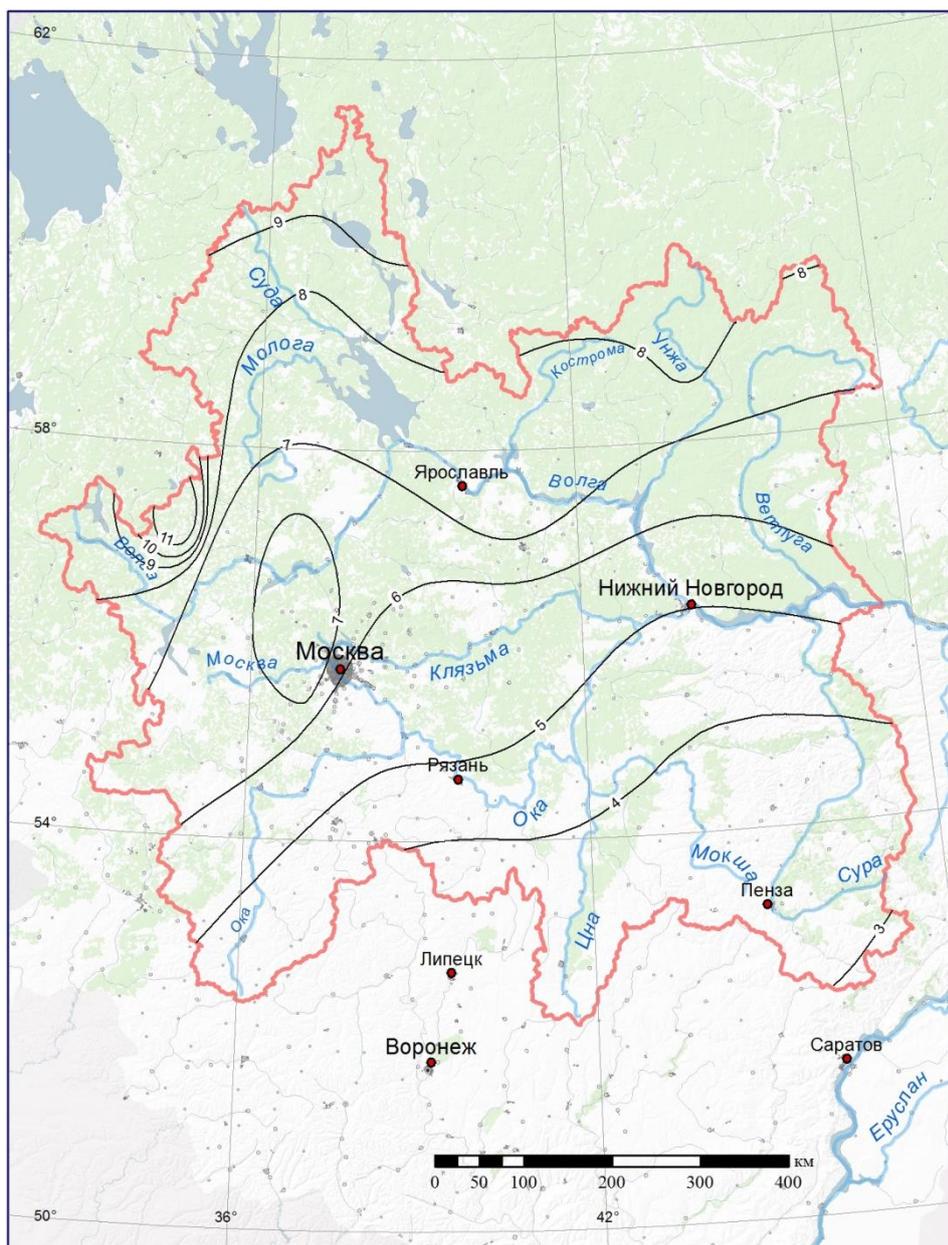


Рисунок 4.2 – Средние многолетние значения годового стока рек бассейна Верхней Волги, л/сек км²

Наименьшие значения коэффициента вариации характерны для рек крайней северо-западной части бассейна, рек южной части Верхневолжской низменности (правобережные притоки Волги – р. Шоша, Нерль, Которосль), а также правобережных притоков Верхней Оки и рек бассейна р. Унжа. Наибольшие значения отмечены в Мещерской низине и в верховьях р. Цна. Практически не прослеживается влияние площади водосбора на величину коэффициента вариации. Карта распределения коэффициента вариации по территории представлена на рисунке 4.3.

На рисунке 4.4 приведено районирование территории по соотношению C_s/C_v . Анализ полученных данных показал, что для практически всего района соотношение $C_s/C_v = 1,5 - 2,0$.

Приведенные карты параметров годового стока (среднемноголетнего модуля стока, коэффициента вариации, отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации)

уточняют ранее опубликованные [2; 3] за счет учета при их построении данных наблюдений за последние годы (1975–2010 гг.).

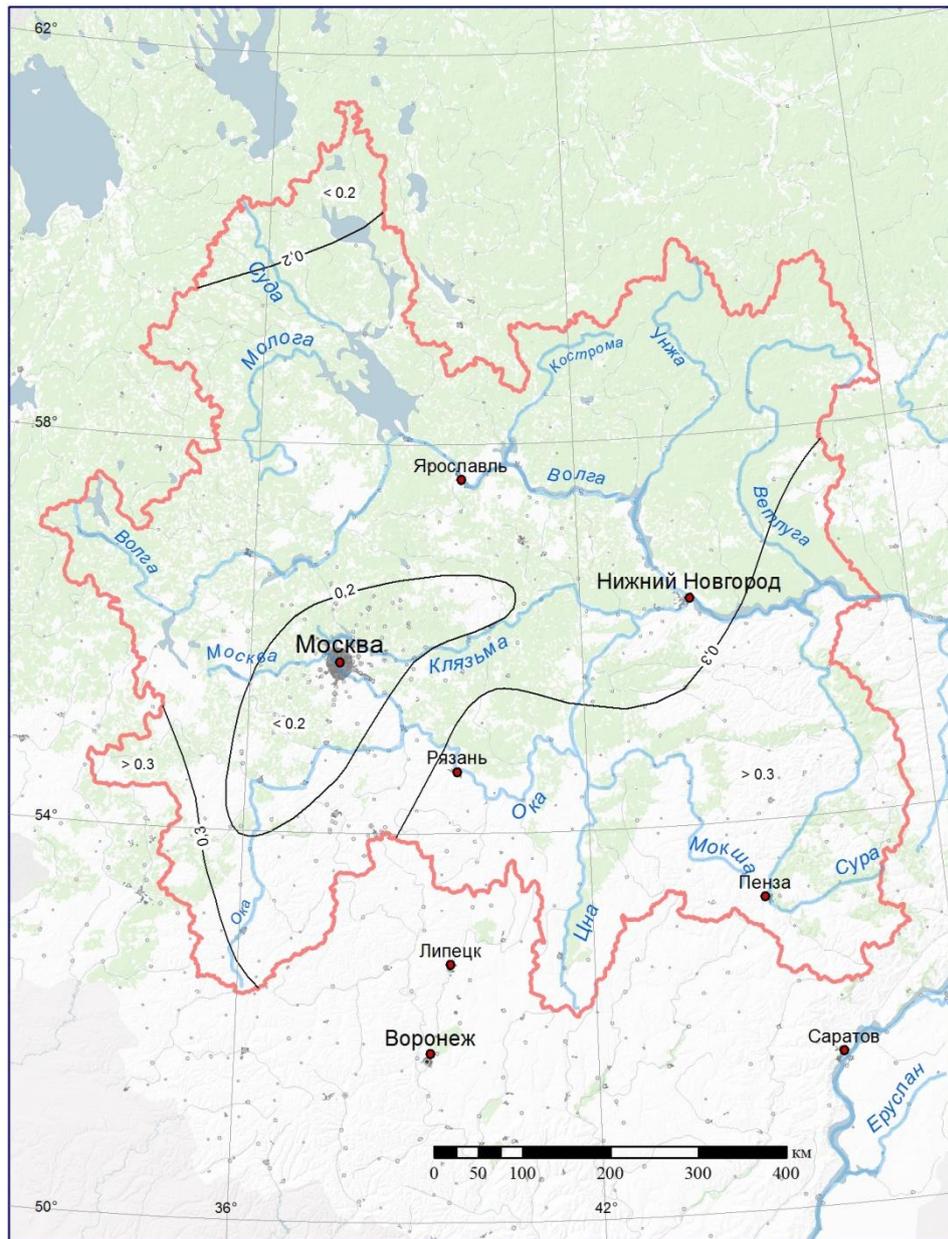


Рисунок 4.3 – Коэффициенты вариации годового стока рек бассейна Верхней Волги

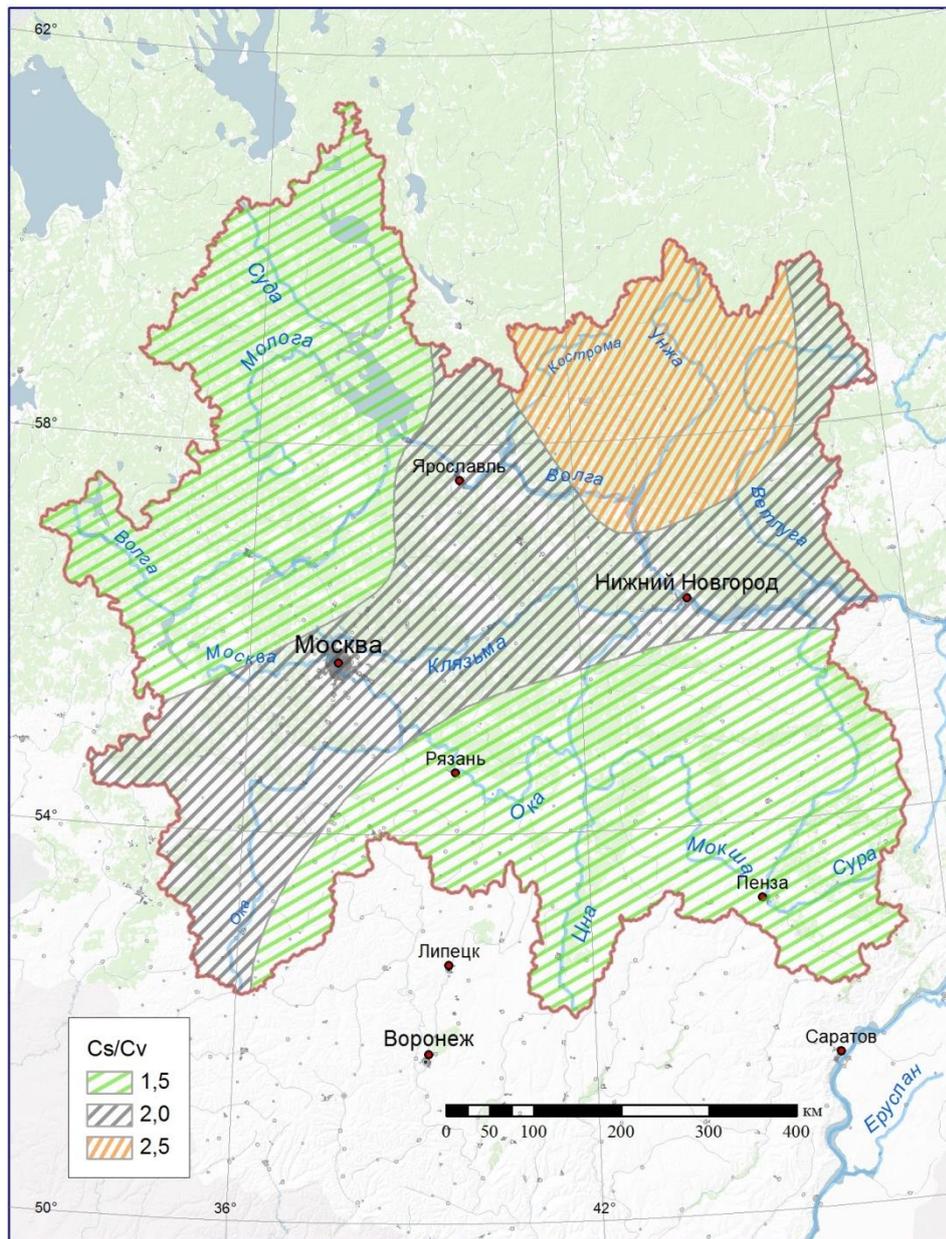


Рисунок 4.4 – Районирование по соотношению Cs/Cv годового стока рек бассейна Верхней Волги

5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Оценка границ гидрологических сезонов и расчеты внутригодичного распределения стока производились по данным наблюдений на 102 гидрологических постах с продолжительностью наблюдений более 50 лет и с естественным режимом. Сроки гидрологических сезонов для рек бассейна Верхней Волги представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сроки гидрологических сезонов для рек бассейна Волги

Бассейн	Сезон		
	Весна	Лето-осень	Зима
Верховья Оки	III–V	VI–XI	XII–II
Верхняя Волга (правобережные притоки)	III–V	VI–XI	XII–II
Верхняя Волга (левобережные притоки)	IV–VI	VII–XI	XII–III

Все расчеты по определению основных гидрологических характеристик выполнены в соответствии с нормативным документом «Свод правил СП 33-101-2003 “Определение основных расчетных гидрологических характеристик”» и «Методическими рекомендациями по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии, недостаточности, отсутствии данных гидрометрических наблюдений и по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным» [4–8].

Гидрологические расчеты проведены с использованием сертифицированной системы инженерно-гидрологических расчетов «Гидрорасчеты», представляющей комплекс основных вычислительных программ, разработанных в ФГБУ «ГТИ». Результаты расчетов представлены в Приложениях А.4 – А.6.

5.1 Факторы формирования внутригодичного распределения стока в бассейне Верхней Волги

Основными факторами, влияющими на внутригодичное распределение стока рек, являются климатические особенности территории (внутригодичной ход температуры воздуха и распределение осадков, а также связанные с ними особенности ледового режима, мощности снежного покрова и запасов воды в нем), механический состав почв и их водные свойства, гидрогеологические особенности строения территории. Все эти факторы подробно описаны в разделе «Физико-географической характеристики бассейна Верхней Волги».

Отдельно следует подчеркнуть, что на особенности внутригодичного распределения стока рек оказывают также непосредственное регулирующее влияние степень залесенности, озерности, заболоченности и закарстованности бассейна, а также активная хозяйственная деятельность человека.

Лесистость бассейна Верхней Волги на 2003 г. составляла около 45 % [24]. В пределах бассейна наибольшая лесистость характерна для северных, наименее освоенных областей:

Кировская область – более 63 %, Вологодская область – 70 %, Костромская область – 74 %. В западных и густо заселенных областях лесистость меньше: Ярославская область – 45 %, Тверская – 54 %, Ленинградская – 56 %. К югу лесистость снижается, достигая в лесостепных областях (Саратовская, Курская, Липецкая, Орловская) 6–8 %. Большая часть лесов Верхневолжского бассейна имеет вторичное происхождение.

С залесенных бассейнов сток в летне-осенний период больше в среднем на 17 мм (или на 34 %), а за зимний период – на 6,4 мм (33 %) [22; 23]. Эффективная инфильтрация на более залесенных водосборах возрастает в среднем на 25 мм или 41 %. В водно-ледниковых ландшафтах западных лесных районов Московской области (при лесистости бассейнов более 30 %) модуль стока увеличивается на 0,53 л/сек км² при возрастании площади лесов на каждые 10 %. В моренных ландшафтах возрастание стока с увеличением лесистости менее значимо: каждые дополнительные 10 % лесистости приводят к увеличению модуля стока на 0,46 л/сек км² [25]. Максимальное увеличение годового стока за счет наличия лесов наблюдается при начальной лесистости водосбора более 40 %.

Озерность и заболоченность. В регионе находится более 25 тыс. озер, неравномерно распределенных по бассейну Верхней Волги. Средняя озерность территории равна 1,5 % и уменьшается с севера на юг и с запада на восток, что характерно для всей ЕТР. Наибольшая озерность в бассейне р. Чагодыща – около 2 %, минимальная (около 0,01 %) – в бассейне р. Нея. Самое крупное озеро региона – Белое ($F_{оз} = 1290$ км², $V_{оз} = 6,2$ км³), из которого начинается р. Шексна. В бассейне Верхней Волги расположено приблизительно 350 водохранилищ, полный объем которых составляет около 60 км³, полезный – 29 км³, а суммарная площадь зеркала – 12 тыс. км². Удельный вес региона в суммарном объеме водохранилищ бассейна Волги составляет 30 %, а по площади зеркала – около 40 %. Основная масса водохранилищ – малые водоемы с объемом от 1 до 10 млн м³, что составляет всего 1 % общего объема водохранилищ бассейна Верхней Волги. Более 90 % суммарного объема воды находится в крупнейших водохранилищах (объем более 1 км³) в долине р. Волга: Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское.

Все крупные водохранилища в бассейне Верхней Волги имеют комплексное назначение (гидроэнергетика, водный транспорт, лесосплав, водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация). Основное назначение Ивановского водохранилища и системы водохранилищ на р. Москва, ее притоках и канала им. Москвы – обеспечение водой Московской городской агломерации. Малые и небольшие водохранилища служат преимущественно для водоснабжения, орошения, рыбного хозяйства, рекреации, отчасти для охлаждения вод тепловых электростанций, промышленного водоснабжения.

Болота – важная часть гидрографической сети Верхней Волги. Они оказывают мощное влияние на естественную зарегулированность стока и качество речных вод. Средняя заболоченность бассейна Верхней Волги составляет около 4 %. Болота неравномерно распределены по территории бассейна. Наибольшее количество болот находится на севере и северо-западе региона. К югу и юго-востоку число болот заметно сокращается. Наибольшая заболоченность характерна для бассейнов рек Чагодыща (24 %), Суда (26 %) и Колпь (33 %). Меньше всего болот в самой южной части региона: в бассейнах рек Большая Кокшага, Илеть и Свияга. Коэффициент заболоченности этих бассейнов близок к нулю.

В результате совокупного влияния на формирование речного стока всех перечисленных выше факторов в бассейне Верхней Волги можно выделить несколько гидрологических районов, отличающихся по режиму стока рек (рисунок 5.1). На большей части территории района, расположенной в лесной зоне (Волго-Онего-Печорский район – Лу1), преобладают реки с пиком весеннего половодья в середине мая и летне-осенними паводками (рисунок 5.2).

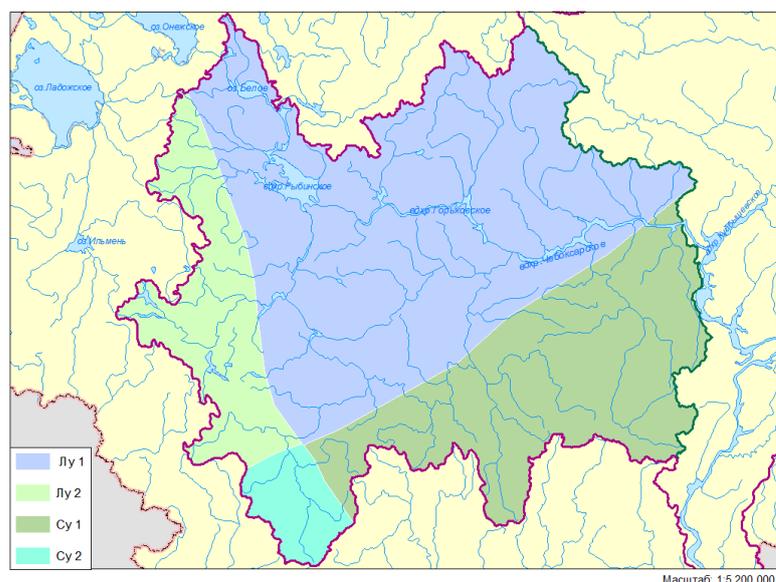
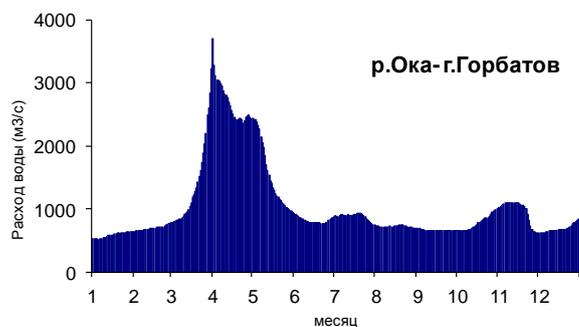
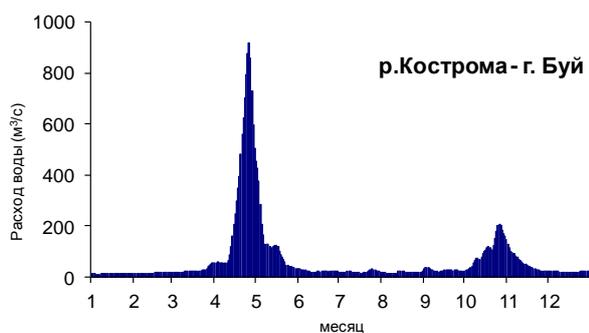


Рисунок 5.1 – Схема гидрологических районов [53]



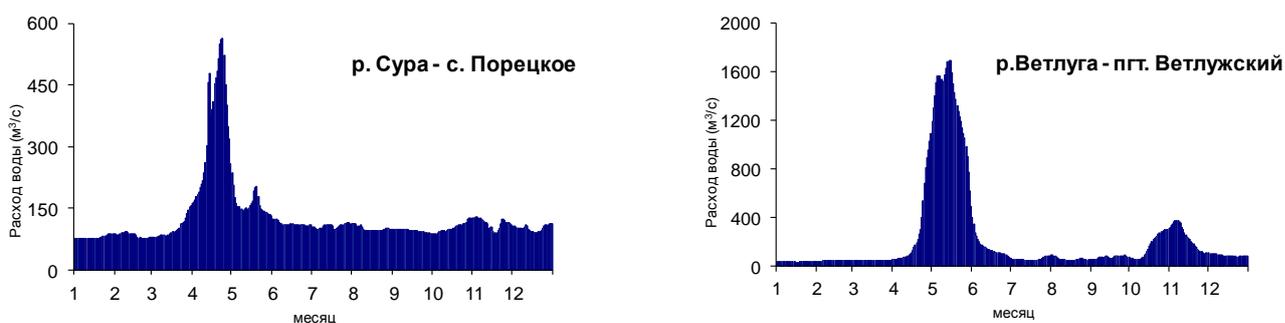


Рисунок 5.2 – Гидрографы стока рек бассейна Верхней Волги

Межень здесь продолжительная, средняя по водности, а ледостав устойчивый, средний по продолжительности.

На западе (в Волго-Западно-Двинском районе, Лу2) распространены реки с весенним половодьем с максимумом в середине апреля, с паводками в другие сезоны, превышающими в отдельные годы средний максимум половодья. Межень средняя по водности, ледостав средней продолжительности.

Для большинства рек южной части бассейна Верхней Волги (Средневолжский район, Су1) максимум весеннего половодья приходится на середину апреля. Паводки преимущественно летние, а также осенние. Межень на этих реках продолжительная, низкая по водности. Ледостав средней продолжительности.

В юго-западной части региона (Днепро-Донской район, Су2) максимум весеннего половодья наблюдается в начале апреля, паводки могут быть в любом сезоне, но преимущественно летние, в отдельные годы существенно превышающие средний максимум половодья. Межень продолжительная, низкая по водности. Ледостав средней продолжительности.

По характеру распределения стока по сезонам года и источникам питания реки района относятся к рекам с преимущественным стоком в течение весеннего периода и преимущественным питанием талыми водами [53].

5.2 Характеристика внутригодового распределения стока рек

В результате статистической обработки ежегодных данных о стоке за нелимитирующий период (НП), лимитирующий период (ЛП) и лимитирующий (зимний) сезон (ЛС) получены параметры кривых обеспеченности (средние значения, C_v и C_s) для 102 пунктов по данным наблюдений за весь период наблюдений, а также за периоды 1946–2010, 1946–1977, 1978–2010 гг. (Приложения А.4 – А.6).

Поскольку основной научный и практический интерес представляют новые данные о внутригодовом распределении стока рек для современных климатических условий (со второй

половины 1970-х гг.) [54], на рисунке 5.3–5.5 представлены карты характеристик сезонного стока (слой (мм) и коэффициент вариации), определенные по данным наблюдений за 1978–2010 гг.

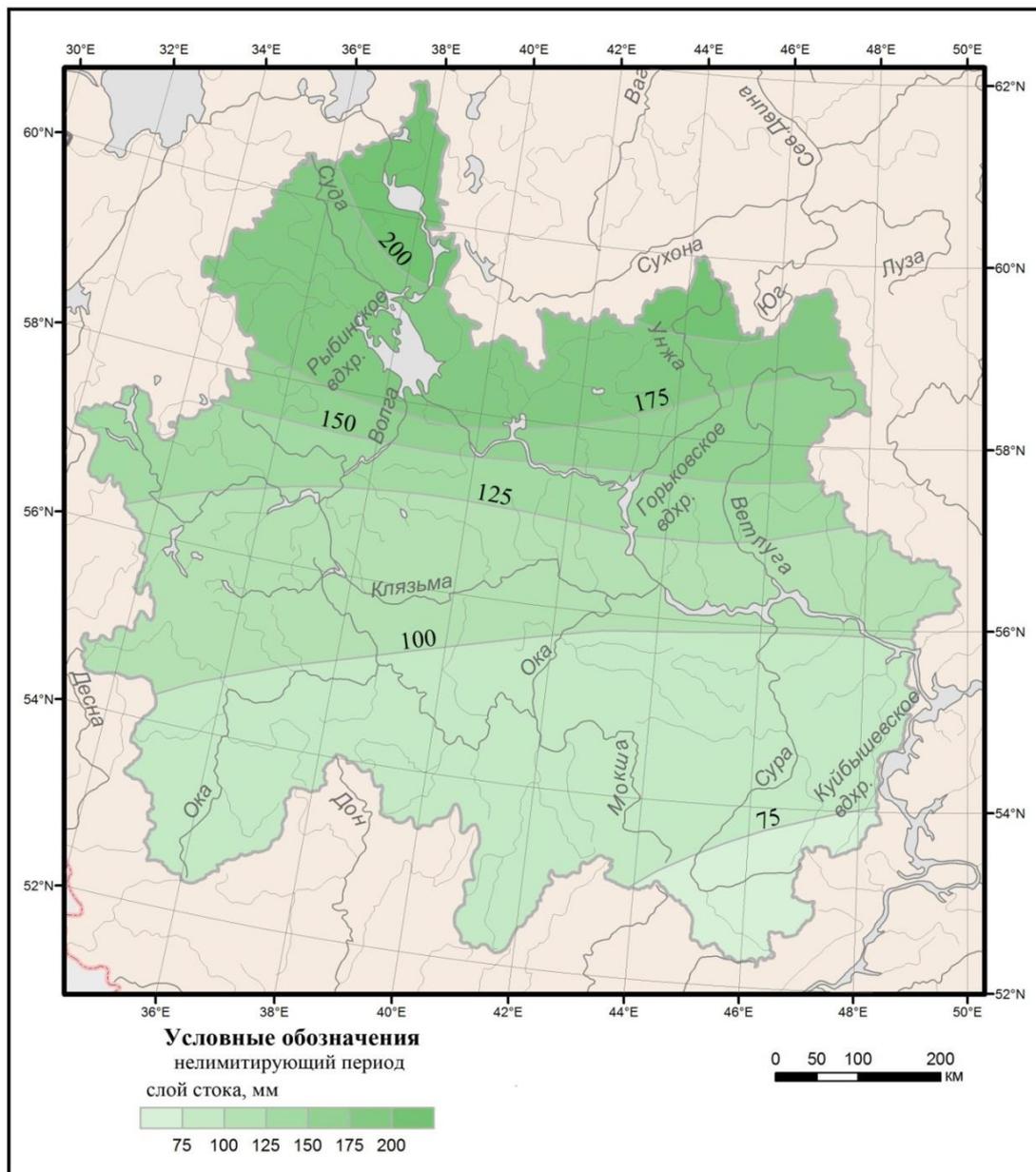


Рисунок 5.3 – Слой стока за нелимитирующий период для рек бассейна Верхней Волги (мм), 1978–2009 гг.

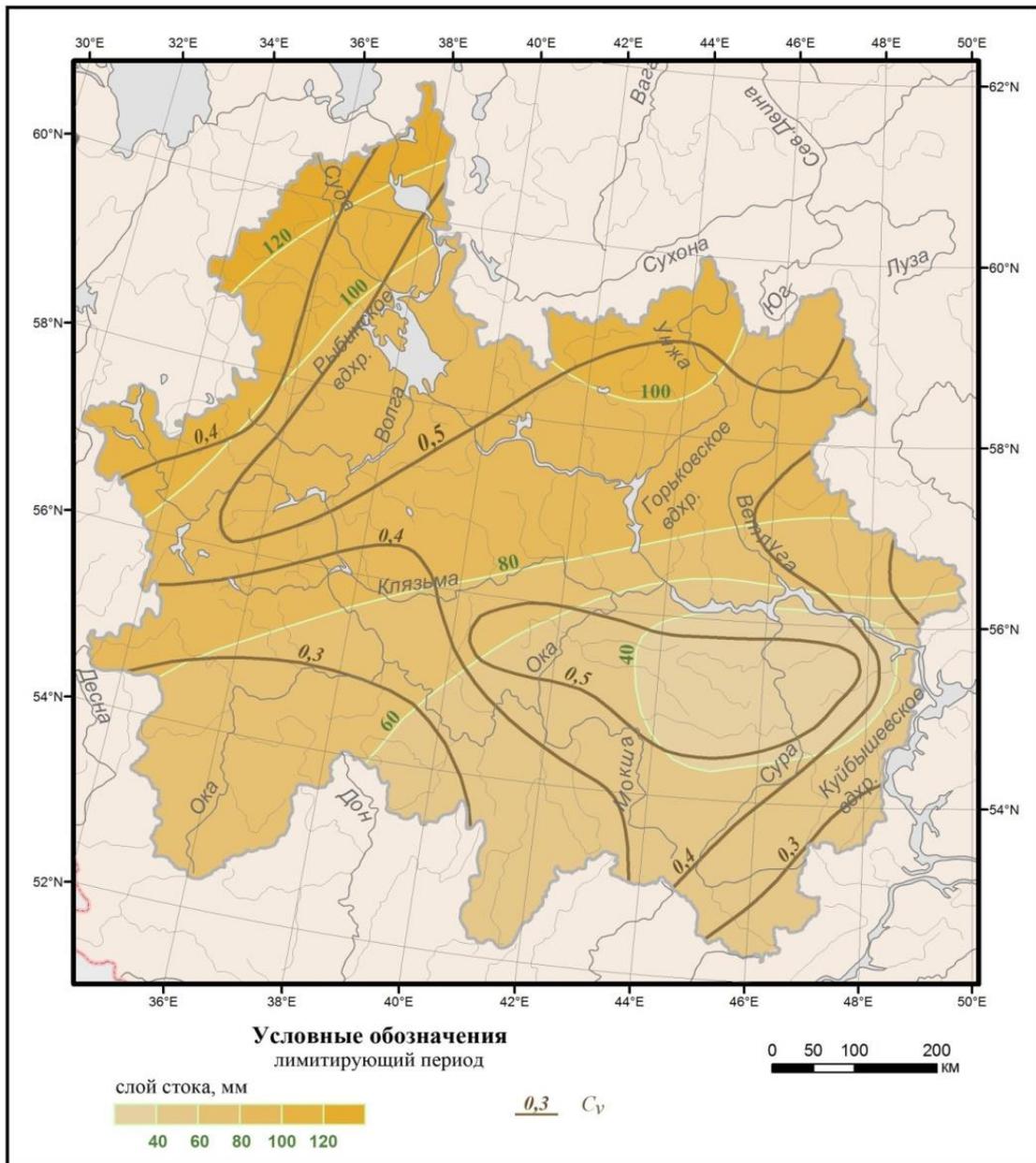


Рисунок 5.4 – Слой стока (мм) и коэффициент вариации за лимитирующий период для рек бассейна Верхней Волги, 1978–2009 гг.

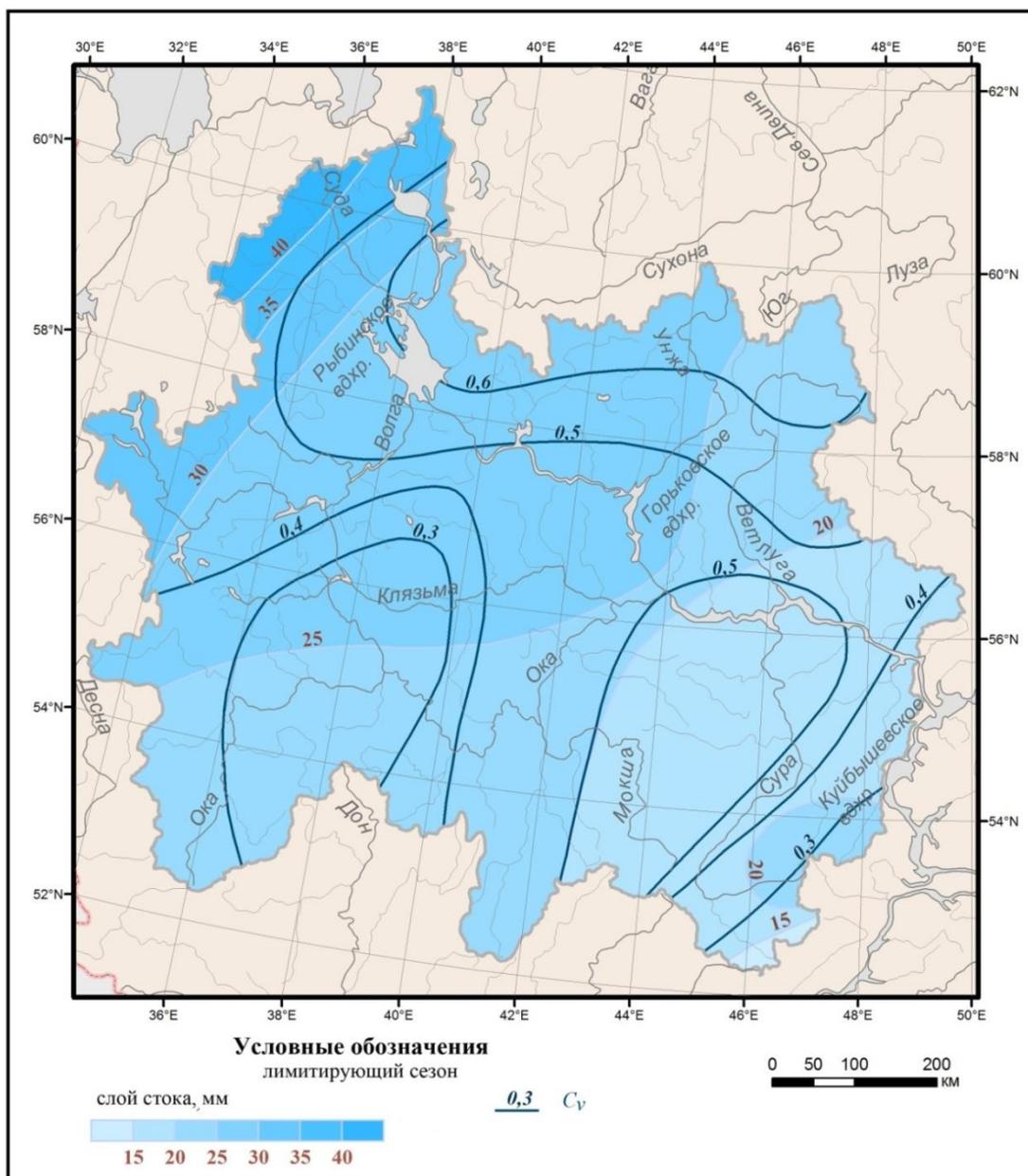


Рисунок 5.5 – Слой стока (мм) и коэффициент вариации за лимитирующий период для рек бассейна Верхней Волги, 1978–2009 гг.

Большая часть годового стока рек формируется в весенний сезон. Слой стока за весенний (нелимитирующий) период закономерно увеличивается в широтном направлении с юга на север, достигая наибольших значений (175–200 мм и более) на севере территории, в верховьях Унжи, в бассейне Кемы. В верховьях Суры эта величина равна 65–75 мм (рисунок 5.3). Соответственно доля стока за НП увеличивается с запада на восток от 50 % в верховьях Волги, Тверцы, Шошы, Тьмы до 70 % и более для рек Тешы, Серези и левобережных притоков Суры – Пьяны, Алатыря. В верховьях Оки доля стока за НП составляет 50–60 %, а в пределах остальной части бассейна Верхней Волги – 60–65 %.

За весенним половодьем следует летне-осенняя межень, часто прерываемая паводками. Слой стока за ЛП также закономерно увеличивается с юга на север от 40 до 120 мм на северо-западе в бассейне Чагодощи, Суды, Кемы. Доля стока за меженный период также изменяется с запада на восток, составляя 40–45 % на западе, где велика доля паводочного стока, до 30–35 % на востоке. Коэффициент вариации стока за ЛП меняется от 0,3 для верхней Оки до 0,4–0,5 в бассейнах левобережных северных притоках Волги.

Наиболее низкий сток наблюдается зимой, когда реки в основном переходят на подземное питание. Зимний сток на всех реках рассматриваемого региона меньше летне-осеннего и составляет от 10–15 мм на юго-востоке (бассейн Суры) до 35–40 мм на северо-западе. Доля зимнего стока в годовом стоке максимальна для Верхней Оки (до 16–18 %) и уменьшается в северо-восточном направлении до 5–10 % в верховьях Ветлуги.

Таким образом, распределение сезонного стока по территории в общих чертах следует закону географической зональности, однако влияние местных аazonальных факторов (озерности, карста, песчаных почв и т. д.) нередко нарушает эту закономерность.

В целом в последнее десятилетие в результате влияния климатических факторов доля стока за лимитирующий период увеличилась, а за нелимитирующий период снизилась.

Естественная зарегулированность стока рек (ϕ) бассейна Верхней Волги [55]

Для рассматриваемой территории величина (ϕ), рассчитанная за период 1978–2010 гг., постепенно увеличивается с севера на юг от 0,55 до 0,80, достигая максимальных значений на юге (верховья Оки, Мокши) и западе (верховья самой Волги). В среднем для рассматриваемой области величина (ϕ) равна примерно 0,65. В 25 % случаев наблюдается статистически значимый тренд увеличения коэффициента (ϕ) за 1946–2010 годы. Увеличение коэффициента естественной зарегулированности стока за последние десятилетия в наибольшей степени проявляется в бассейнах рек Мокши и Суры (более 30 %), верховьях Оки и Волги и составляют до 20–30 %. Несколько в меньшей степени увеличение коэффициента естественной зарегулированности стока отмечается в бассейне реки Мологи, среднем и нижнем течении Ветлуги, Унжи – 10–20 %, и практически незаметно в северной части бассейна. Такие изменения произошли за счет уменьшения доли талого стока и увеличения доли подземной составляющей (рисунки 5.6–5.8). Наиболее сильные изменения наблюдаются в южной части бассейна.

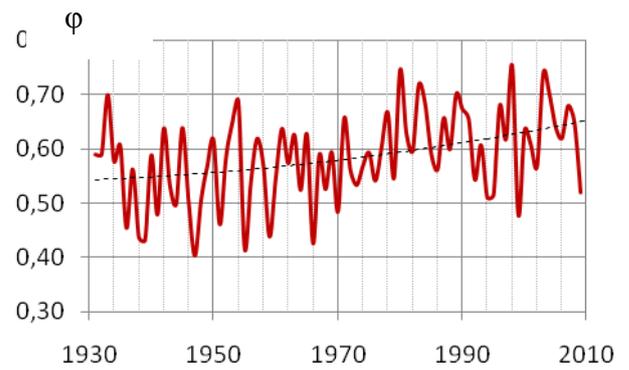
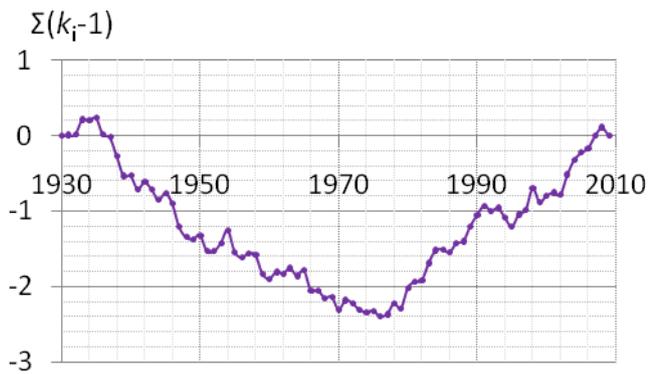


Рисунок 5.6 – Разностная интегральная кривая (слева) и многолетние колебания коэффициента φ (справа) для р. Молога – г. Устюжна

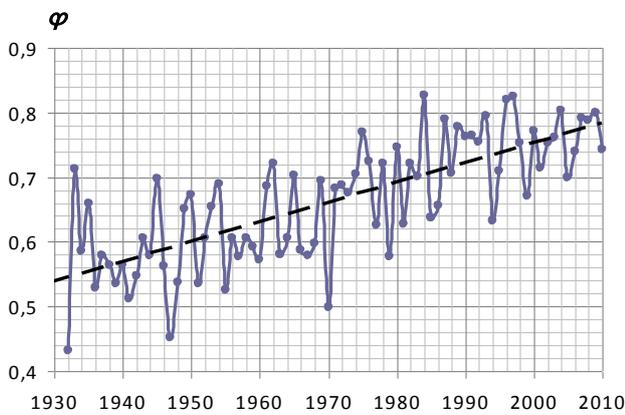


Рисунок 5.7 – Изменение коэффициента естественной зарегулированности стока в бассейне Оки за 1930–2010 гг. (р. Ока – г. Горбатов)

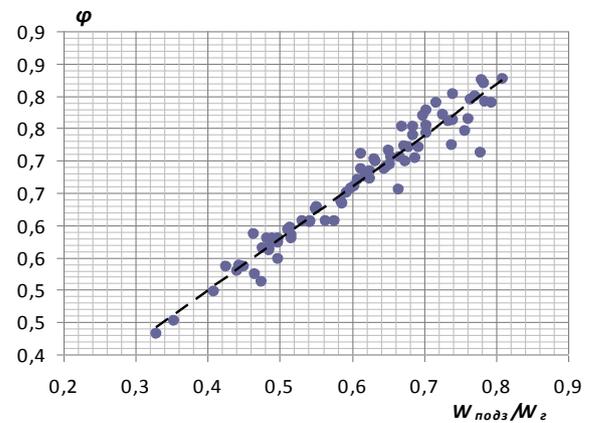


Рисунок 5.8 – Связь коэффициента естественной зарегулированности стока (φ) и доли подземного стока в суммарном речном стоке

На рисунке 5.9 представлена карта изолиний коэффициента (φ), рассчитанных за период 1978–2010 гг.

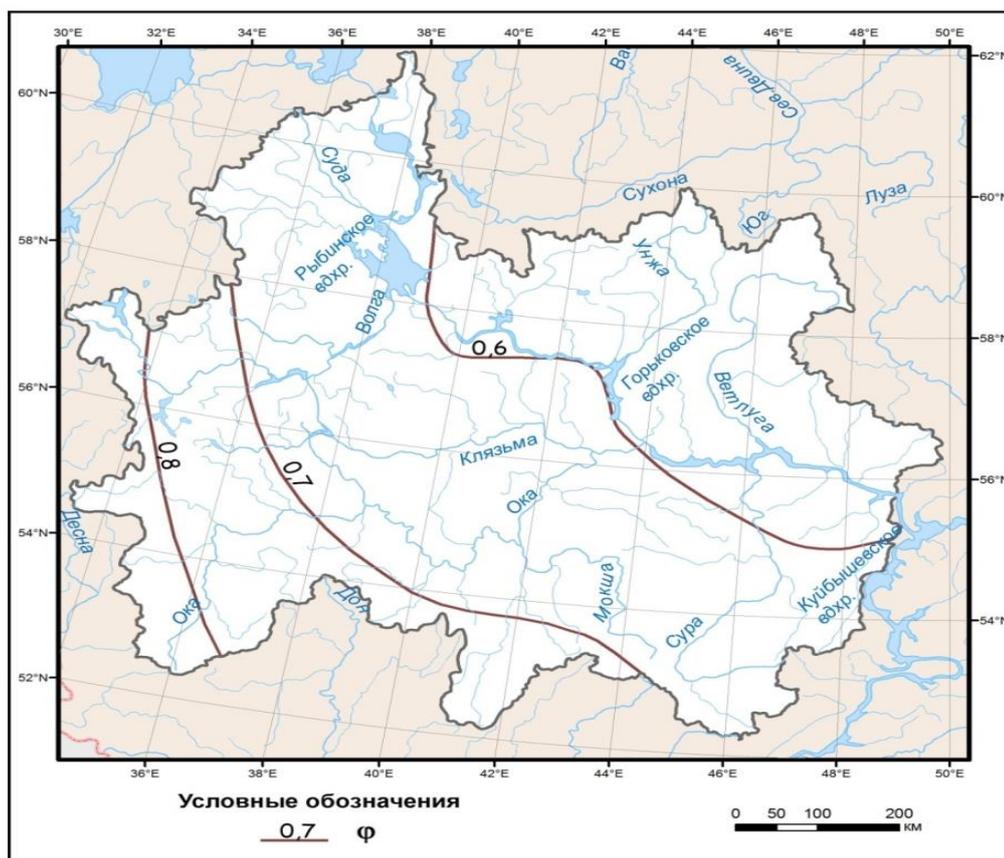


Рисунок 5.9 – Карта изолиний коэффициента естественной зарегулированности стока(ϕ) для рек бассейна Верхней Волги

Изменение характеристик внутригодового распределения стока по территории

Для характеристики пространственной изменчивости внутригодового распределения стока было проведено гидрологическое районирование (рисунок 5.10). В качестве критериев отнесения рек к тому или иному району использована схожесть формы гидрографов стока, рассчитанных в относительных единицах (%), абсолютные величины слоев стока за НП, ЛП и ЛС и доли сезонов в годовом стоке, а также физико-географические и гидрогеологические особенности территории (климатические характеристики, рельеф, озерность, заболоченность, карст). В значительной степени при уточнении границ районов были использованы результаты районирования, приведенного в [56].

В связи с тем, что все реки получают преимущественно снеговое питание, для них характерно крайне неравномерное распределение стока в течение года. Как было указано выше, подавляющая часть годового стока (от 50 до 70 %) проходит в весенний период, при снеготаянии. Поэтому характер весеннего половодья (объем, продолжительность и доля в годовом стоке) в значительной мере предопределяет характер распределения водности в течение года.

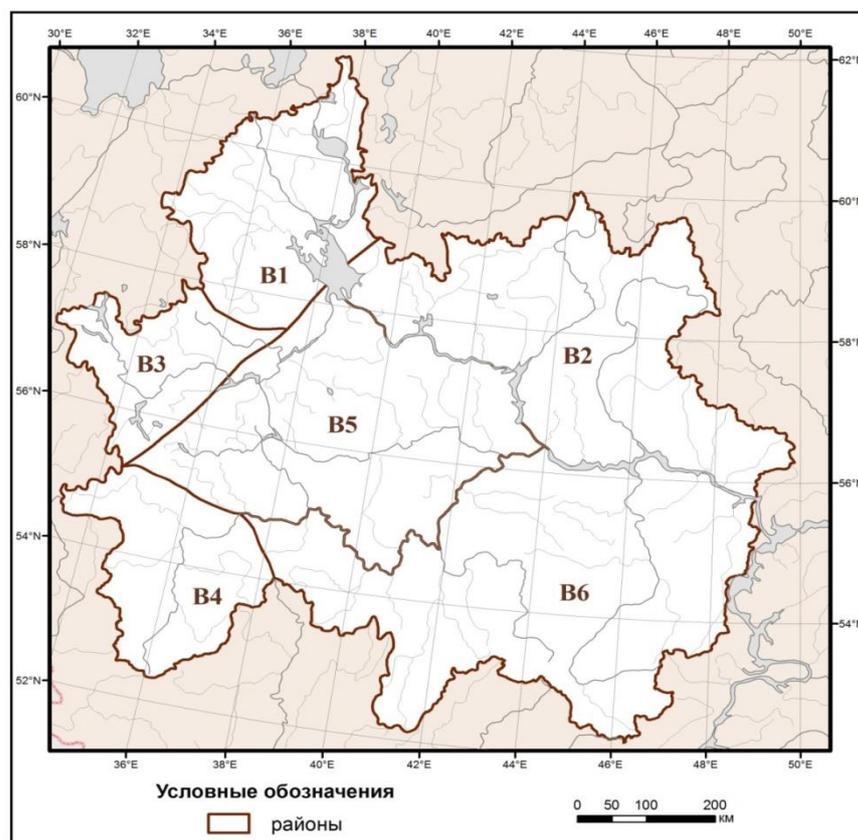


Рисунок 5.10 – Районирование бассейна Верхней Волги по характеру внутригодового распределения стока

Район 1 объединяет бассейны рек Мологи, Суды и других, более мелких притоков Рыбинского водохранилища. Большая часть территории занята низменной равниной, только на западной и северной периферии низменность сменяется грядами и холмами отрогов Валдайской возвышенности. Бассейны рек характеризуются значительной залесенностью (50–70 %), заболоченностью (10–50 %) и большим количеством озер (1–4 %), а в верховьях Чагодоши, Песи, Лиди, Суды, Колпи и других рек распространены карстующиеся породы. Режим рек отличается значительной естественной зарегулированностью (коэффициент ϕ равен 0,6–0,7), сток весеннего сезона составляет 60–65 %, сток за ЛП – 40–45 %, зимнего – 12–14 % от годового.

Разнообразное сочетание природных условий (озера, карст, большая заболоченность, лесистость и т. д.) определяет различия внутригодового распределения стока рек района.

Самым многоводным месяцем является апрель или май (на озерных или закарстованных реках), а самыми маловодными месяцами – февраль или март. Осенью на реках района наблюдается повышенный сток за счет прохождения дождевых паводков. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 1, для ЛС равно 2–3. Коэффициент вариации слоя стока за ЛП и ЛС равен 0,4–0,5.

Район 2 охватывает бассейны рек Костромы, Унжи, Ветлуги, а также бассейны более мелких притоков Горьковского водохранилища. На севере района преобладает холмисто-грядовый рельеф

Галичско-Чухломской возвышенности и Северных Увалов, в южной части более распространен равнинный или низменный рельеф. Слой стока за НП равен 150–200 мм и составляет 60–65 % от стока за год в западной части района и 65–70 % в восточной. Таким образом, неравномерность стока несколько увеличивается в восточном направлении. В последние десятилетия наблюдается незначительное (до 10 %) уменьшение доли стока за весенний сезон. Слой стока за лимитирующий период мало меняется по территории района – в пределах 80–110 мм, достигая максимума в верховьях Унжи. Доля стока за ЛП равна 30–38 % от объема годового стока. Коэффициент вариации слоя стока за ЛП – 0,40–0,50 и более – наибольший для бассейна Верхней Волги, что может быть связано с существенной долей дождевой составляющей стока в течение межени. Зимний сток составляет 8–10 % от годового, а коэффициент вариации слоя за ЛС – 0,50–0,60. Коэффициент естественной зарегулированности стока для рек рассматриваемой территории равен 0,55–0,60. Зависимость от площади водосбора, как меженного стока, так и стока за зимний сезон, а также их долей в году, для рек данного района не выражена. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП и ЛС равно 3.

Район 3 включает Валдайскую возвышенность, небольшая мощность морен обуславливает развитие карста. К этому району относятся верховья Волги, бассейны Тверцы, Вазузы, Шоши, Ламы. Для данного района в связи с более ранним началом половодья сроки весеннего и летне-осеннего сезонов сдвинуты на месяц: весна – март – май, лето – осень – июнь – ноябрь, зима – декабрь – февраль. Коэффициент зарегулированности стока для рек района очень высок 0,75–0,8. Доля весеннего стока от годового достигает лишь 50–55%, величина самого слоя стока – 125–150 мм. Величина слоя стока за ЛП – более 100 мм, а коэффициент вариации равен 0,4. Доля стока за ЛП составляет около 45 % от годового.

Район 4 охватывает бассейн р. Ока, включая бассейн р. Угра, вплоть до устья р. Проня.

В пределах района преимущественно расположен северный склон Среднерусской возвышенности и Мещерская низменность. В верхнем течении р. Ока, р. Упа, в бассейне р. Зуша и р. Проня развит карст. Поверхность Мещерской низменности в целом имеет плоский рельеф с уклоном в направлении с запада на восток. Лесистость водосборов невелика – от 5 до 15 %, исключение составляют значительно залесенные бассейны рек Жиздра (46 %), Угра (38 %) и Протва (49 %). Реки района характеризуются значительной естественной зарегулированностью стока, коэффициент φ на современном этапе (1978–2010 гг.) здесь составляет от 0,75 до 0,80.

Для данного района на современном этапе (1978–2010 гг.) на весенний (нелимитирующий) период приходится около 55 % годового стока. Наибольшая доля стока за весенний период наблюдается в бассейнах рек Упа (61 %), Протва (60 %) и Истья (63 %), наименьшая – в бассейнах Зуши (45 %), Нугри (50 %) и верховьях Оки (55–56 %).

На период межени (лимитирующий период) в среднем для района приходится около 44 % годового стока, в то время как на зимний (лимитирующий сезон) – около 16 %. Значения стока за лимитирующий период приближаются к доле весеннего стока для р. Нугрь (50 %), р. Жиздра (48 %), верховьев Оки (р. Ока – д. Костомарово – 47 %). Наибольшие доли стока за зимний период (около 18–20 %) характерны для р. Зуша, Нугрь, верховьев Оки, а наименьшие – для р. Протва (14 %) и р. Угра (15 %). Повышенный сток за лимитирующий период и лимитирующий сезон для указанных рек может быть связан с регулирующим действием карста, бóльшей долей подземного питания.

Изменчивость стока за период межени сильно различается как по территории, так и в зависимости от площади водосбора. В среднем для района C_v лимитирующего периода равняется 0,30, изменяясь от 0,18 (р. Ока – с. Половское) до 0,81 (Путынка). Изменчивость стока за лимитирующий сезон несколько выше – C_v лимитирующего сезона в среднем составляет 0,34. Отношение C_v/C_v для слоя стока в среднем для района за ЛП и ЛС равно 2.

Зависимости сезонного стока от морфометрических характеристик водосборов имеют характер тенденций. Лишь для стока за лимитирующий сезон для малых и средних рек (без створов на р. Ока) могут быть построены связи слоя стока с площадью водосбора, средневзвешенным уклоном русла, средней высотой водосбора. Зависимости слоя стока за зимний период от площади водосбора и средневзвешенного уклона русла носят логарифмический характер и имеют коэффициенты корреляции 0,79 и 0,84 соответственно. Коэффициент вариации стока за лимитирующий сезон зависит также от площади водосбора.

Район 5 объединяет бассейн р. Клязьма, включая бассейн р. Москва, а также левобережные притоки нижнего течения Оки, начиная от устья р. Проня. В бассейнах рек Москва, Истра, Яуза наблюдается повышенное подземное питание рек из водообильных горизонтов карбона.

Естественная зарегулированность стока в данном районе несколько ниже, чем в верхнем течении Оки, коэффициент (ϕ) равен 0,60–0,75.

Для данного района на современном этапе (1978–2010 гг.) на весенний (нелимитирующий) период приходится около 58 % годового стока. Наибольшая доля стока за весенний период наблюдается у малых рек Мещерской низменности и Ростово-Плесской гряды – около 68 % (р. Бужа) и 64 % (р. Лух), а аномально низкая в бассейне р. Ушна (35 %).

На лимитирующий период в среднем для района приходится около 41 % годового стока, в то время как на зимний (лимитирующий сезон) – 14 %. Наибольшие доли стока за зимний период (исключая р. Ушна) характерны для бассейна Клязьмы и составляют около 15 %, а наименьшие – для р. Лух и р. Бужа (10 и 12 % соответственно).

Изменчивость стока в данном районе несколько выше, чем для верховьев Оки: средний для района коэффициент вариации стока лимитирующего периода и лимитирующего сезона

составляет 0,30 и 0,34 соответственно. Для лимитирующего периода коэффициент вариации существенно различается в зависимости от площади водосбора и местоположения. Пониженные коэффициенты вариации характерны для р. Клязьма и составляют 0,25–0,27, аномально низкая изменчивость наблюдается в бассейне р. Ушна (0,19). Повышенные коэффициенты вариации (до 0,50–0,60) характерны для малых рек Бужа, Гусь, Лух и Нерль. Отношение C_v/C_v для слоя стока в среднем для района за лимитирующий период и лимитирующий сезон составляет около 2,5.

В современных климатических условиях для рек района наблюдается относительно слабое снижение стока в весенний период, составляющее в среднем 10 %, что соответствует сокращению доли нелимитирующего периода в среднем на 12 % вне зависимости от водности года. При этом для всех постов очевидно увеличение доли стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон на 20 и 30 % соответственно. С учетом того, что сток за лимитирующий период здесь относительно высок, то данное сокращение соответствует увеличению слоя стока на 50 и 65 % соответственно. Зависимости сезонного стока от морфометрических характеристик водосборов не прослеживаются. Зависимость стока лимитирующего периода от годового стока отсутствует.

Район 6 объединяет бассейны рек Мокши и Суры.

Территория района довольно неоднородна по рельефу: в северо-западной и западной частях района расположены Тамбовская равнина и Окско-Цнинское плато, к востоку и юго-востоку рельеф более пологий.

Почвы весьма разного механического состава – от суглинистых до песчаных. На значительной части этой территории в междуречье Суры и Оки, а также в бассейне Суры развиты карстовые процессы. Лесистость водосборов незначительная, чаще всего 5–25 %, значительно более залесенными являются бассейны р. Теша (39 %), Сережа (65 %) и р. Вад (37 %). Озер и болот на территории района практически нет.

По степени естественной зарегулированности стока район относится к области со значениями коэффициента естественной зарегулированности 0,6–0,75.

Для данного района на современном этапе (1978–2010 гг.) на весенний (нелимитирующий) период приходится около 65 % годового стока. Наибольшая доля стока за весенний период наблюдается в бассейнах рек Пьяна (82 %), Исса (80 %) и Алатырь (77%), наименьшая – в бассейнах рек Теша (54 %) и Цна (55 %).

На лимитирующий период в среднем для района приходится около 34 % годового стока, в то время как на зимний (лимитирующий сезон) – около 18 %. Наибольшие доли стока за зимний период (около 16–18 %) характерны для р. Цна и р. Тешнярь, а наименьшие – для р. Пьяна, Алатырь, Исса, Сивинь (от 6 до 9 %).

Изменчивость стока в данном районе значительно выше, чем в верхнем и среднем течении Оки и ее притоков. Для лимитирующего периода коэффициент вариации различается как по

территории, так и в зависимости от площади водосбора. В среднем для района C_v лимитирующего периода равняется 0,44, изменяясь от 0,25 для крупных водосборов (р. Сура – с. Порецкое) до 0,67 для средних водосборов – притоков нижнего течения Суры (р. Пьяна) и до 0,8 для малых рек (р. Исса – с. Паево). Изменчивость стока за лимитирующий сезон еще выше – C_v лимитирующего сезона в среднем составляет 0,52. Отношение C_s/C_v для слоя стока в среднем для района за лимитирующий период и лимитирующий сезон равно 3,2. На современном этапе для рек района наблюдается снижение стока в весенний период в среднем на 30 %, сокращение доли нелимитирующего периода на 15–20 % вне зависимости от водности года. При этом для всех постов очевидно увеличение доли стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон, составляющее в среднем 60 %.

Зависимости сезонного стока от морфометрических характеристик водосборов прослеживаются слабо.

6 СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

6.1 Характеристика весеннего половодья

Половодье является важнейшей фазой водного режима, характеризующейся высокой водностью. Ход стока во время половодья определяется в основном снеготаянием.

Основными элементами весеннего половодья являются даты начала и конца половодья, его продолжительность, максимальный (срочный и среднесуточный) расход и уровень и дата его наступления, продолжительность подъема и спада, объем и слой стока.

Даты начала и окончания половодья устанавливались по гидрографам стока. За начало половодья принимается первый день с заметным увеличением расхода воды, предшествующий обычно резкому повышению уровня и расхода, а за окончание половодья – день в конце кривой спада, когда интенсивность спада уже резко снизилась в результате окончания стока основного объема талых вод. Дата наступления наибольшего расхода половодья считается день с наибольшим среднесуточным расходом воды. Продолжительность половодья исчисляется от даты начала половодья включительно до его окончания.

Объем половодья – суммарное количество воды, проносимое рекой за этот период. Объем стока определялся суммированием ординат гидрографа половодья без разделения стока на поверхностный и подземный. Суммарный слой стока за половодье – слой воды, который получится, если весь объем стока равномерно распределить по площади, к которой относится этот объем. Слой стока за период половодья включает сток талых снеговых вод, а также подземный и дождевой сток от осадков, выпадающих в период половодья. Доля стока половодья в суммарном годовом стоке вычисляется, как отношение слоя стока половодья к годовому стоку.

Весеннее половодье на территории Верхневолжского района является основной фазой водного режима рек, на которую приходится основное количество годового стока и, как правило, максимальные расходы воды. Сток половодья составляет от 50 % до 70 % и более годового. По многолетним данным начало весеннего половодья наблюдается раньше всего на юго-западе и юге территории (бассейн Верхней Оки и р. Цна – в третьей декаде марта), в центральной части в первой декаде апреля, на севере и северо-востоке во второй декаде апреля.

Средняя дата пика половодья значительно изменяется по территории в соответствии с изменением сроков снеготаяния: на реках южной части территории пик проходит 02–05.04, на реках центральной части 10–15.04, на реках севера и северо-востока 01–05.05.

Продолжительность половодья зависит от величины бассейна, его залесенности, заболоченности, наличия озер, величины снеготаяния к началу половодья, характера весны. Средняя продолжительность половодья увеличивается с юга на север от 30 до 60 дней. Обычно

половодье на реках бассейна Верхней Волги проходит в виде одной резко выраженной волны стока.

Основными факторами, определяющими формирование стока весеннего половодья, являются величина снеготопивости, количества жидких осадков в период половодья и потери на испарение и фильтрацию. Эти факторы изменяются по территории бассейна Верхней Волги в соответствии с широтной зональностью, что определяет в свою очередь широтное изменение величин слоя стока весеннего половодья. Отклонения от общих закономерностей связаны с влиянием таких факторов как озерность, заболоченность, наличие карстующихся пород в бассейне и др.

6.2 Исходные данные

Исходными материалами для анализа характеристик максимального стока весеннего половодья рек бассейна Верхней Волги послужили ежегодные данные по 450 постам, в том числе и ранее закрытым, с рядами наблюдений от 1 до 130 лет. Для 53 рядов период наблюдений составил менее 6 лет. Имеющиеся материалы характеризуют максимальный сток главным образом рек с площадями водосбора более 200 км². На их долю приходится 86 % общего количества постов наблюдений. Данные по характеристикам весеннего стока рек с площадями водосборов менее 200 км² имеются по 63 гидрологическим постам.

По всем рядам наблюдений произведен анализ основных элементов весеннего половодья (даты начала и конца половодья, продолжительность, максимальный расход и дата его наступления, объем и слой стока). В Приложениях А.7 и А.8 даны результаты обработки и анализа по каждому гидрологическому посту: период и число лет наблюдений; характерные значения стока за период наблюдений: средние многолетние расходы воды и слои весеннего половодья, наибольший и наименьший расход и слои с годом его наблюдения.

Практически для всей территории бассейна (кроме крайнего северо-востока) за последние 30 лет отмечено уменьшение доли весеннего стока в годовом стоке.

Как следует из результатов анализа для рек бассейна Оки, отмечается сдвиг сроков начала весеннего половодья в сторону более ранних дат на 5–10 дней, соответственно увеличивается продолжительность половодья, уменьшаются максимальные расходы воды. На северо-западе и северо-востоке наблюдается незначительное сокращение продолжительности половодья.

Для повышения точности расчетов и расчетных параметров кривой обеспеченности данные по постам с короткими рядами наблюдений (от 6 лет) приводились к многолетнему периоду. Данные, полученные в результате приведения коротких рядов к многолетнему периоду, подвергались анализу и проверялись путем различных сопоставлений, в том числе графических, с соответствующими данными по соседним пунктам.

В результате продления средняя продолжительность рядов характеристик стока весеннего половодья составила 87 лет, при этом длина ряда увеличилась в среднем на 52 года.

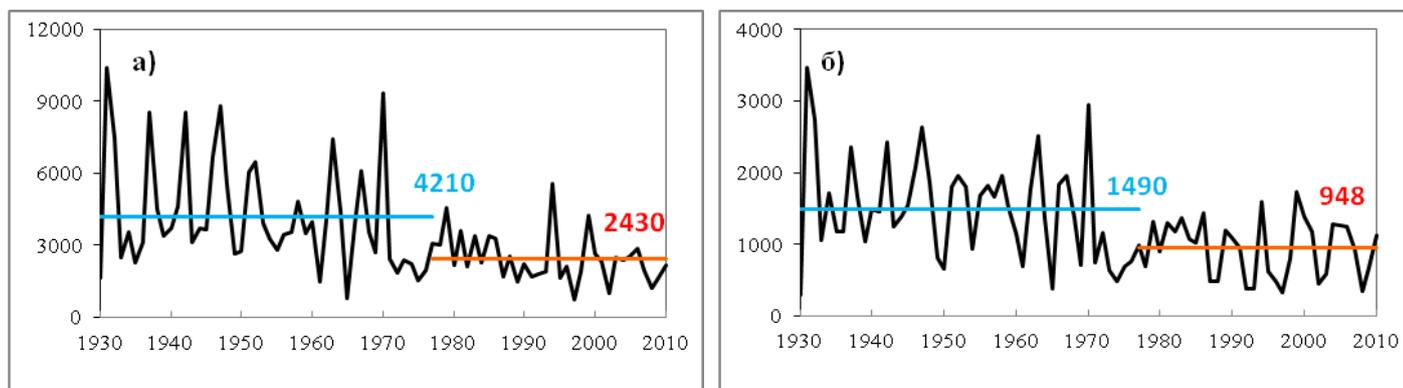
6.3 Однородность и стационарность

Оценка однородности максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья была выполнена по критериям Фишера и Стьюдента с использованием многолетних данных по 384 гидрологическим постам.

В результате выполненных расчетов было установлено, что по критерию Стьюдента 60 % рядов слоев весеннего половодья являются неоднородными, а по критерию Фишера – 59 %. На большинстве рек бассейна Верхней Волги, за исключением рек северной части рассматриваемой территории (бассейны рек Ветлуга и Унжа), весенний сток в последние десятилетия снизился. Наиболее значительное, на 10–30 % по отношению к предшествующему многолетнему периоду, снижение произошло на реках бассейна Оки, что и явилось причиной возникновения статистической неоднородности. Этот вывод подтверждается и наличием значимых отрицательных трендов в стоковых рядах. Для рек, на которых произошло снижение слоев весеннего половодья, отмечается и существенное уменьшение дисперсии их колебаний.

Отсутствие трендов в характеристиках весеннего половодья или его незначительное увеличение отмечается на севере рассматриваемого района, который характеризуется значительной залесенностью (50–70 %) и заболоченностью (10–50 %).

Результаты оценки однородности рядов максимального стока весеннего половодья показали, что по критерию Стьюдента неоднородными являются 61 % рядов, а по критерию Фишера – 56 %. При этом на реках где произошло существенное уменьшение слоя весеннего половодья и размаха его колебаний, соответствующее уменьшение отмечается и в максимальном стоке. На рисунке 6.1 в качестве примера показаны хронологические графики максимальных расходов весеннего половодья для ряда рек бассейна Верхней Волги, где выявлена неоднородность и по среднему, и по дисперсии.



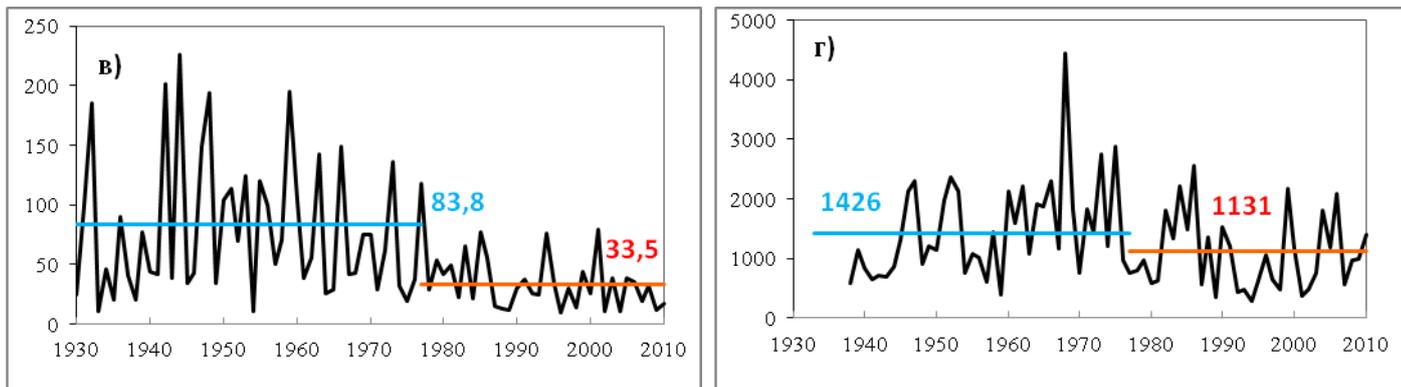


Рисунок 6.1 Многолетние изменения максимальных расходов воды весеннего половодья ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Верхней Волги

Горизонтальными отрезками показаны средние значения за периоды до (синий) и после 1977 г. (красный цвет) а) р. Ока – г. Калуга ($F = 54\,900 \text{ км}^2$); б) р. Угра – пгт Товарково ($F = 15\,300 \text{ км}^2$); в) р. Ушна – д.Новлянская ($F = 1140 \text{ км}^2$); г) р. Мокша – с. Шевелевский Майдан ($F = 28\,600 \text{ км}^2$)

6.4 Расчетные параметры распределения

По многолетним рядам максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья, в том числе приведенным к многолетнему периоду, определены параметры распределения.

Параметры кривых обеспеченности и расчетные величины максимальных расходов и слоев различной повторяемости приведены в Приложениях А.7 и А.8.

Значения модуля максимального стока весеннего половодья изменяется в пределах рассматриваемой территории от $15,6 \text{ л/сек км}^2$ до 816 л/сек км^2 . Средняя квадратическая ошибка расчета нормы максимального стока весеннего половодья для 83 % всех рассмотренных рядов не превышает 10 %, в среднем ошибка равна 8 %. Значения коэффициента вариации максимальных расходов воды весеннего половодья (C_v) изменяется от 0,2 до 1,1. Средняя квадратическая ошибка расчета коэффициента вариации максимальных расходов весеннего половодья для 50 % всех рассмотренных рядов не превышает 10 %, (при среднем значении ошибки 11 %). Среднее многолетнее значение слоя стока весеннего половодья изменяется от 17 мм до 303 мм.

Среднее значение коэффициента автокорреляции для рядов максимального стока и слоев половодья для всей рассматриваемой территории составляет 0,2. Значения коэффициента автокорреляции изменяются в пределах от 0,5 до 0,1. Средняя квадратическая ошибка расчета слоя стока весеннего половодья для 96 % всех рассмотренных рядов не превышает 10 %, в среднем ошибка равна 6 %.

Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья (C_v) колеблются в пределах 0,20–0,60. Средняя квадратическая ошибка расчета коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья не превышает 10 % для 47 % всех рассмотренных рядов, в среднем ошибка равна 11 %.

В результате выполненных проработок в целом существенно повысилась обоснованность параметров кривых распределения стока в пунктах наблюдений по сравнению с ранее имевшейся

информацией [2]. Уточнение характеристик стока осуществлено в результате использования удлиненных почти в 1,5 раза рядов наблюдений, применения более широкого спектра статистических методов обработки данных.

6.5 Карты расчетных параметров

На основании полученных расчетных характеристик стока рек выполнено построение карт распределения:

- среднего многолетнего слоя стока за половодье;
- коэффициента вариации;
- величины соотношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации.

Карты расчетных параметров основных гидрологических характеристик весеннего половодья для бассейнов рек Верхней Волги приведены на рисунках 6.2–6.4.

Методы построения карт изложены в разделе 3.7. Карты построены по расчетным характеристикам весеннего половодья для рек с площадью водосборов от 1000 до 20 000 км².

Норма слоя стока весеннего стока равномерно уменьшается с севера на юг от 150 до 50 мм.

Изменения коэффициента вариации по рассматриваемой территории составляет от 0,20 до 0,60, а для преобладающего количества пунктов от 0,30 до 0,40, имея тенденцию к широтному изменению. Для лесной зоны характерны значения C_v порядка 0,30–0,40, а для лесостепной 0,40–0,50. Наименьшие значения C_v характерны для рек крайнего северо-запада района – бассейны рек Суда, Шексна, рек бассейна Унжи.

Для большинства рек территории отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации изменяется от 1 до 3. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для северо-западной части, его значения для бассейнов рек Суда и Молога достигают 3–4. Для большинства рек коэффициент асимметрии равен 2.

Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья колеблются в пределах 0,30–0,60 и имеют тенденцию к широтному изменению. Для лесной зоны характерны значения C_v порядка 0,30–0,40, а для лесостепной 0,40–0,50.

Приведенные карты параметров слоя весеннего половодья уточняют ранее опубликованные [2] за счет учета при их построении данных наблюдений за последние десятилетия и особенностей многолетних изменений этой характеристики.

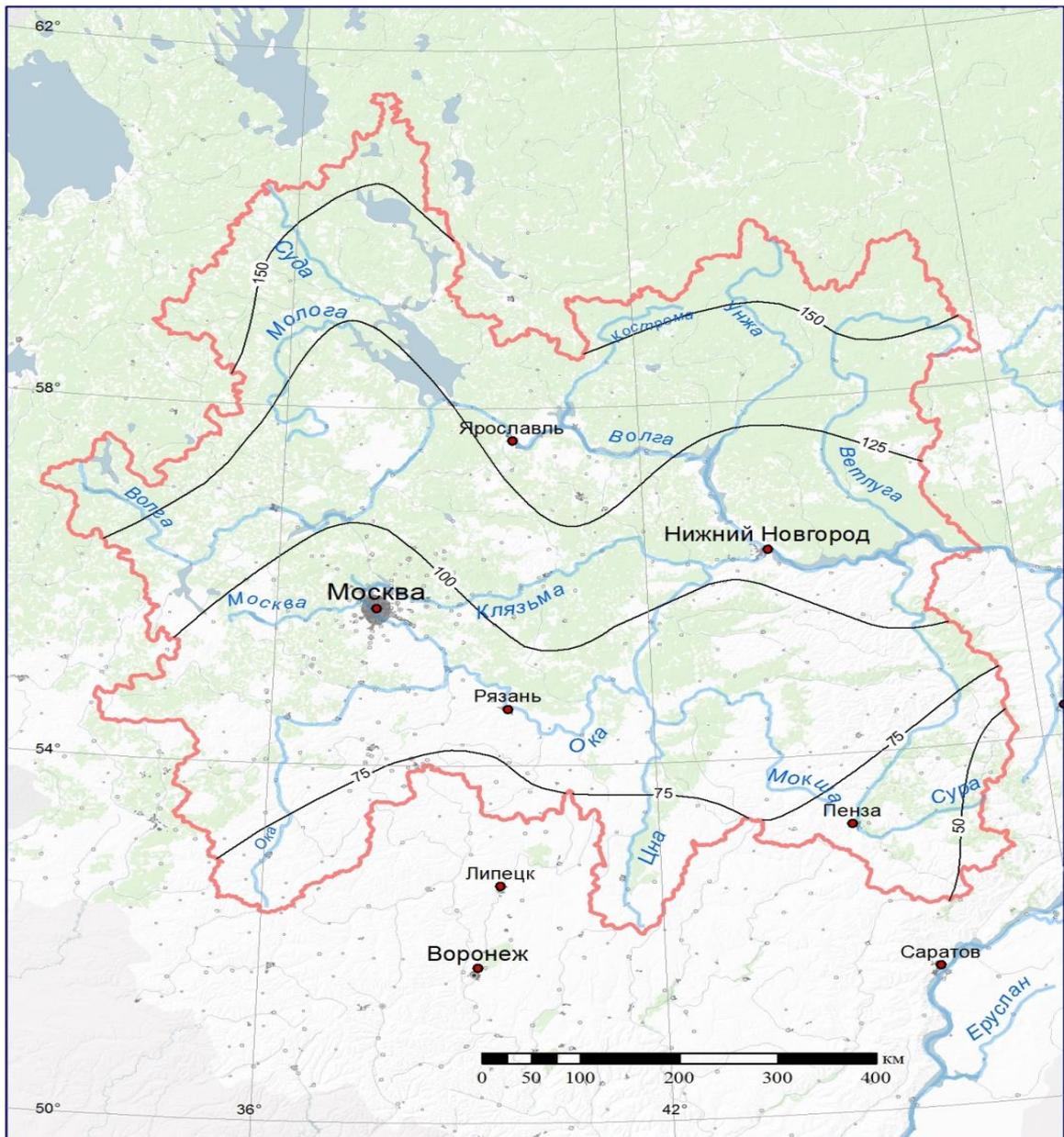


Рисунок 6.2 – Средний многолетний слой стока весеннего половодья, мм

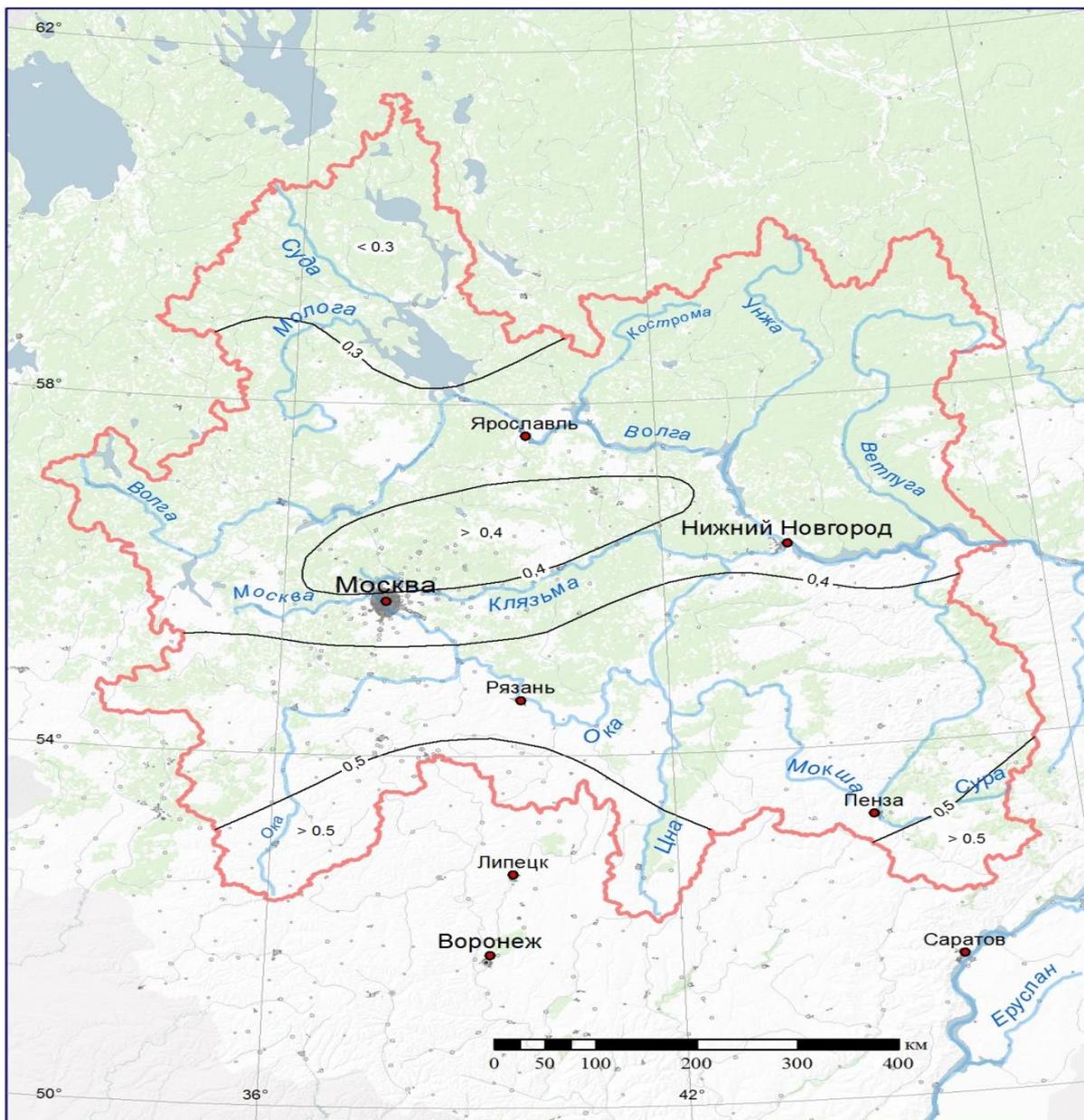


Рисунок 6.3 – Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья

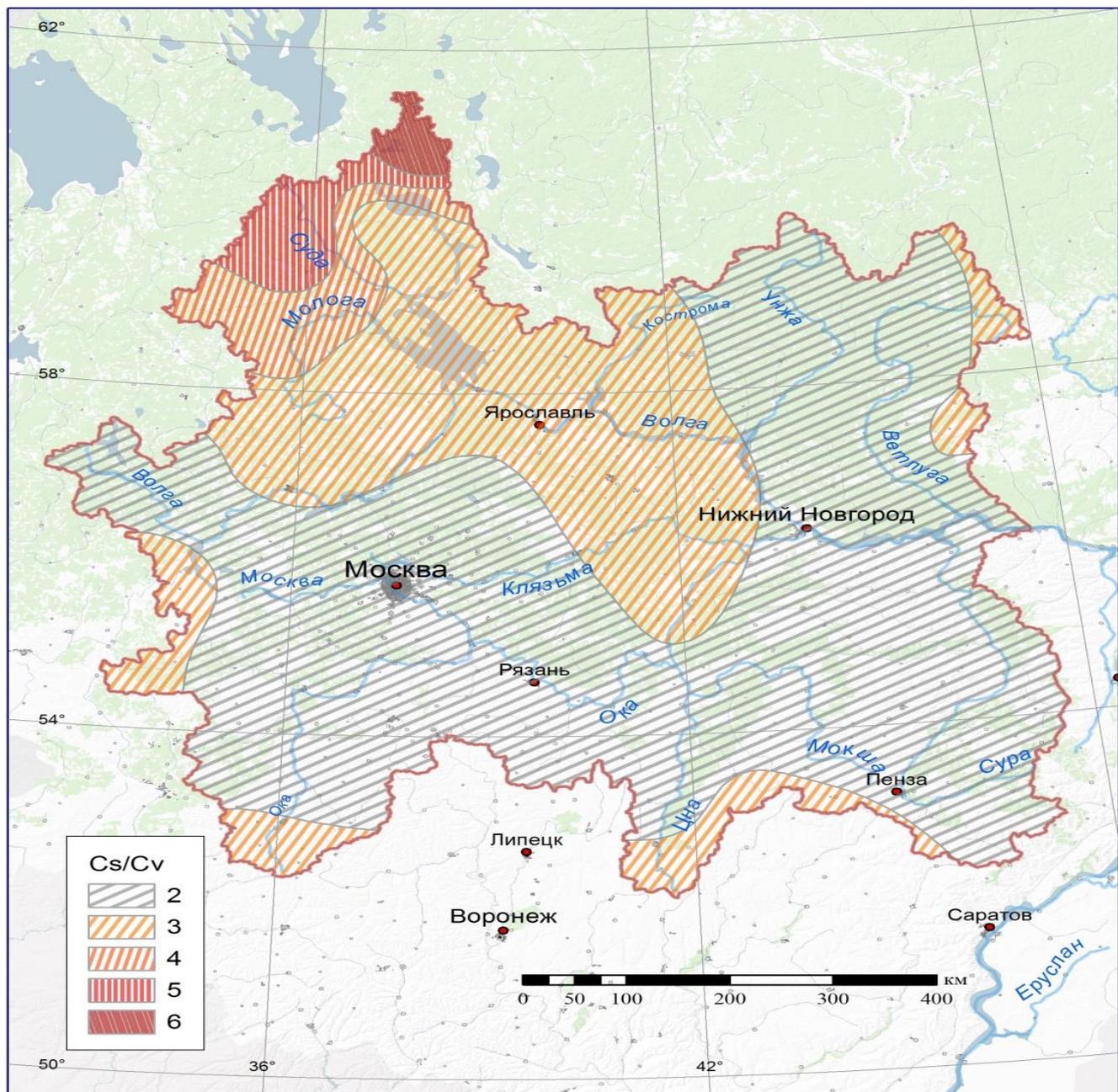


Рисунок 6.4 – Районирование по соотношению C_s/C_v слоя стока весеннего половодья

7. СТОК ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

На реках бассейна Верхней Волги дождевые паводки не являются лимитирующими по максимальному стоку и слою стока за паводок. На этой территории дождевые паводки проходят не ежегодно, и, как правило, максимальные расходы дождевых паводков не достигают максимальных расходов весеннего половодья. Гидрометрические створы, по которым отмечены дождевые паводки, неравномерно распределены по территории. Наиболее часто дождевые паводки отмечаются на реках северной части района, с площадями водосборов до 1000 км². На водотоках, с площадями водосборов более 10 000 км² дождевые паводки выделяются редко. Малые водотоки с площадями водосборов менее 100 км², на которых дождевые паводки хорошо прослеживаются, слабо изучены. На таких водотоках только 36 постов, что составляет 8,6 % от общего количества пунктов наблюдений. Продолжительность наблюдений на этих постах, как правило, менее 20 лет.

На водотоках рассматриваемого района количество и величина дождевых паводков изменяется как по годам, так и по территории. Наиболее высокие дождевые паводки по уровням, расходам и интенсивности подъема наблюдаются на малых реках северо-восточной, центральной и юго-западной частях исследуемого района. Гидрографы дождевых паводков, как правило, имеют островевершинную форму и характеризуются резким подъемом и спадом уровней. Высшие уровни дождевых паводков в среднем значительно ниже максимумов весеннего половодья, хотя в отдельные годы могут достигать и даже превышать максимальную высоту половодья.

Слой и максимум стока дождевых паводков, обусловленный выпадением жидких осадков в теплый период года, зонально изменяется с северо-запада на юго-восток от 30–50 мм в бассейнах рек Песь, Сура, Лиль, Шексна, верховьях рек Кострома, Унжа, Ветлуга до 5–10 мм в верховьях рек Ока, Цна, Мокша, Уза. Доля дождевого стока в годовом в среднем уменьшается от 15–25 % в северной части района до 4–5 % на крайнем юго-востоке. В отдельные годы доля дождевого стока в годовом увеличивается до 30–40 % на севере и до 6–10 % на юге района.

Формирование выдающихся дождевых паводков на больших реках происходит главным образом при прохождении высоких дождевых паводков на притоках или при обложных дождях на всем водосборе, что бывает очень редко. Сравнительно короткие интенсивные ливни, выпадающие на относительно небольших площадях, часто формируют значительные дождевые паводки на водосборах малых и средних площадей. Объем стока наибольших единичных дождевых паводков в северо-восточной части района в 2–3 раза ниже стока за половодье. В юго-восточной части района это соотношение возрастает до значений в 5–10 раз. Максимальные расходы дождевых паводков на средних и больших реках лесной зоны в 2–3 раза ниже

максимумов половодья, в лесостепной – в 5–10 раз. На водосборах с площадями до 100 км² дождевые максимумы редкой повторяемости могут превышать расходы половодья в 5–7 раз.

По наблюдаемым величинам максимальных расходов дождевых паводков за период, продолжительностью более 30 лет, выполнен анализ изменений максимальных расходов за многолетний период. Устойчивой тенденции в изменении максимальных расходов дождевых паводков (увеличения, уменьшения) не выявлено.

При наличии материалов гидрометрических наблюдений по максимальному стоку дождевых паводков расчеты сводятся к установлению максимумов различной обеспеченности по многолетним рядам наблюдений.

По значениям максимальных расходов строились эмпирические кривые обеспеченности максимальных расходов дождевых паводков и слоев стока за дождевые паводки. Для аналитического выражения кривых обеспеченности максимальных расходов дождевых паводков и слоев стока применялись биномиальные кривые распределения (Пирсона III типа), которые дают наилучшее соответствие эмпирических и теоретических кривых во всех случаях. Локальность в формировании дождевых паводков значительно сужает возможности восстановления отсутствующей информации и приведения коротких рядов наблюдения к многолетнему периоду. Как правило, восстановить пропуски в наблюдениях и удлинить многолетние ряды наблюдений удается только по данным наблюдений на близко расположенных притоках одной реки или на небольших близко расположенных водосборах. По значительной части пунктов наблюдений статистические характеристики максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков рассчитаны по наблюдаемым рядам.

Оценка точности расчета статистических параметров распределения, вычисленных по данным наблюдений, выполнена стандартным методом на основе расчета средних квадратических ошибок среднего значения ряда и коэффициента вариации расчетного ряда. Значения параметра C_s устанавливалось методом подбора, исходя из лучшего соответствия эмпирических и теоретических кривых распределения [4]. В области малых обеспеченностей, расчет погрешностей квантилей через доверительные границы к эмпирической кривой обеспеченности не проводился, поскольку случайные ошибки могут быть сколь угодно велики из-за ограниченных объемов выборок, повышенной изменчивости и значительной асимметрии рядов максимального дождевого стока [45].

В Приложении А.9 приводятся характеристики наибольших дождевых паводков в теплый период года за период от начала наблюдений по 2010 год. В Приложении А.10 приведены значения параметров кривых распределения максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков и расчетные значения максимальных расходов и слоев стока за дождевые паводки различной обеспеченности.

Карты расчетных параметров основных гидрологических характеристик дождевых паводков для бассейнов рек Верхней Волги представлены на рисунках 7.1–7.3.

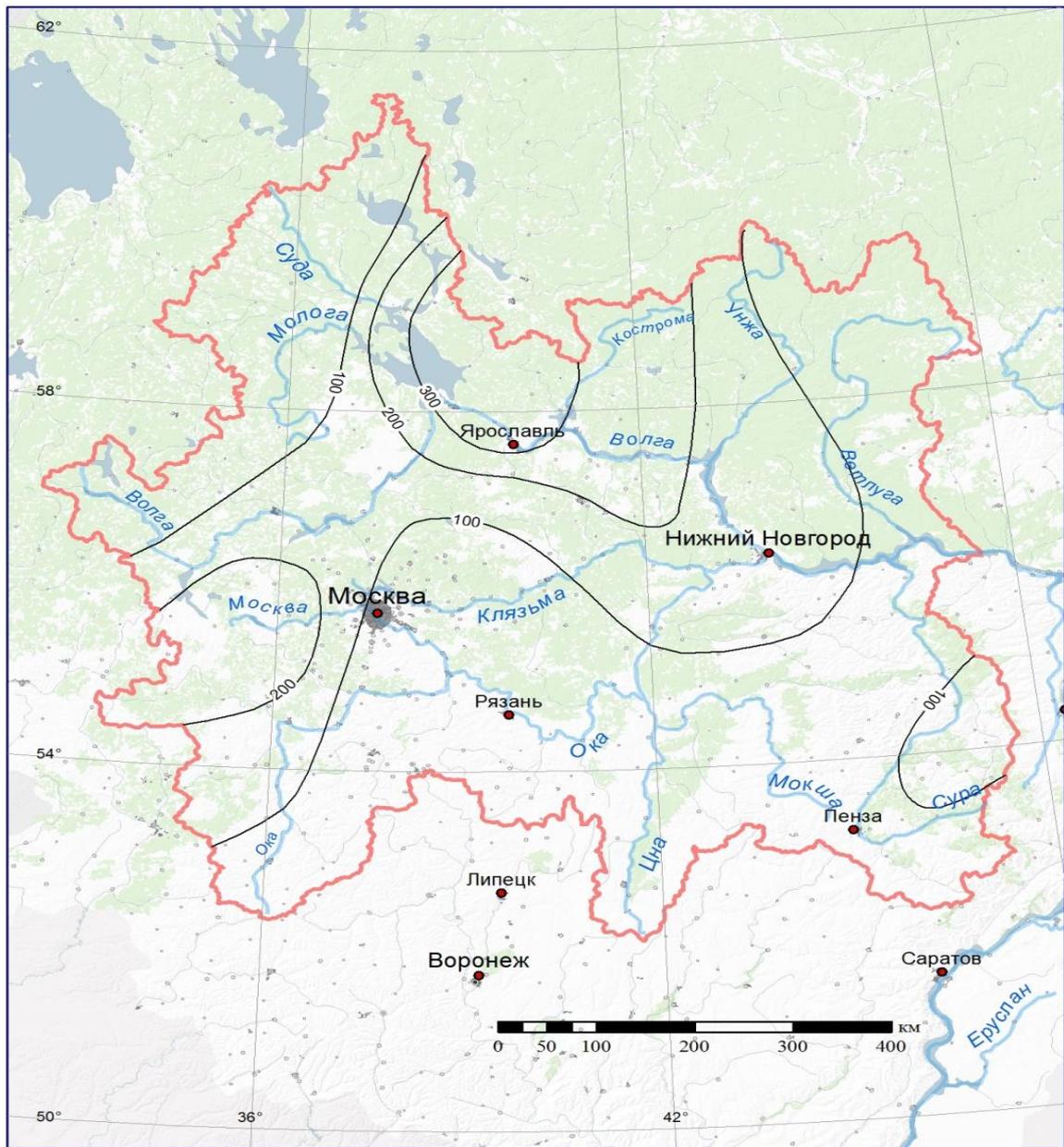


Рисунок 7.1 – Максимальный сток дождевых паводков вероятностью превышения 1 % рек бассейна Верхней Волги, л/сек км²

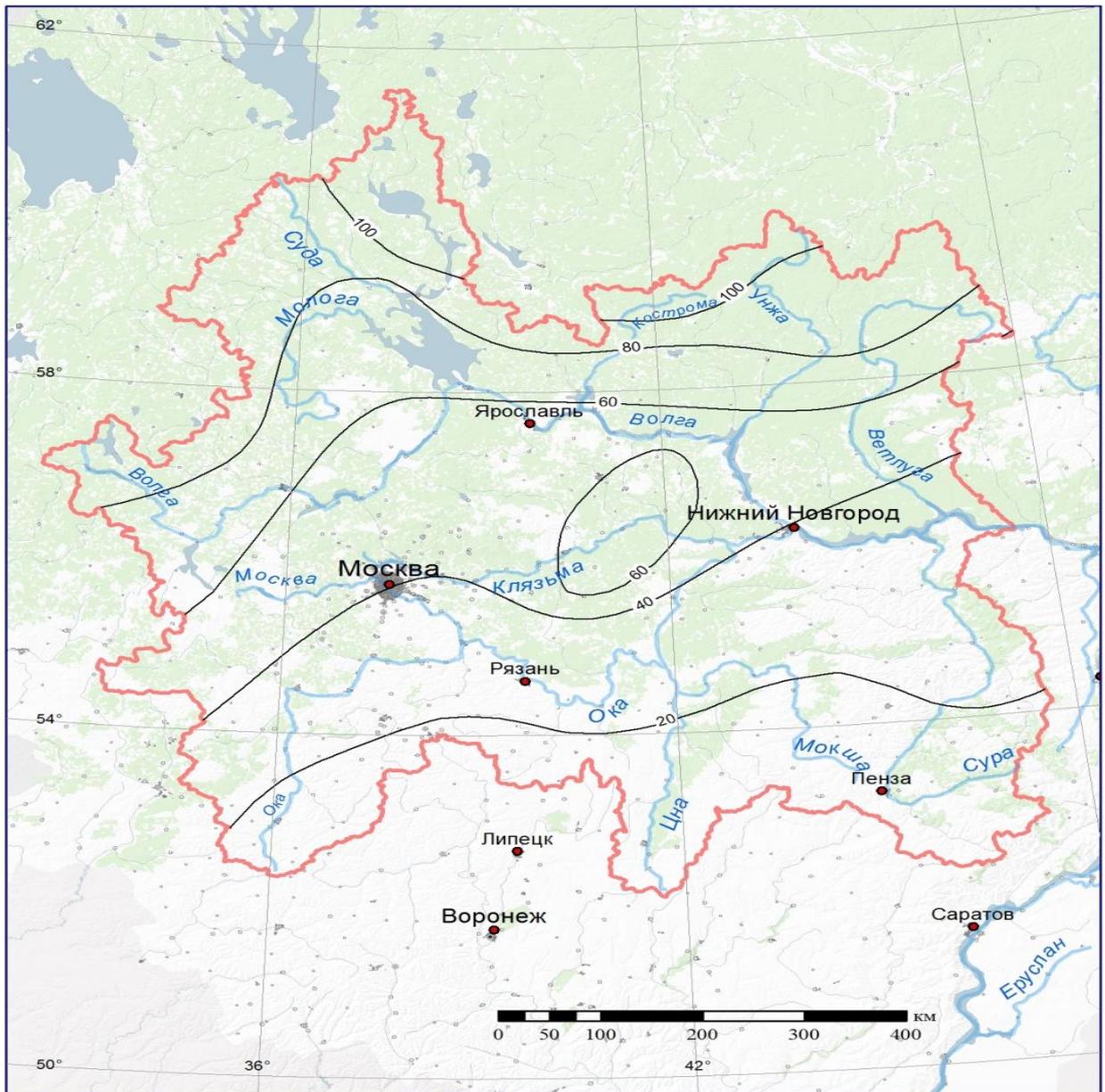


Рисунок 7.2 – Максимальный слой дождевых паводков вероятностью превышения 1 % рек бассейна Верхней Волги, мм

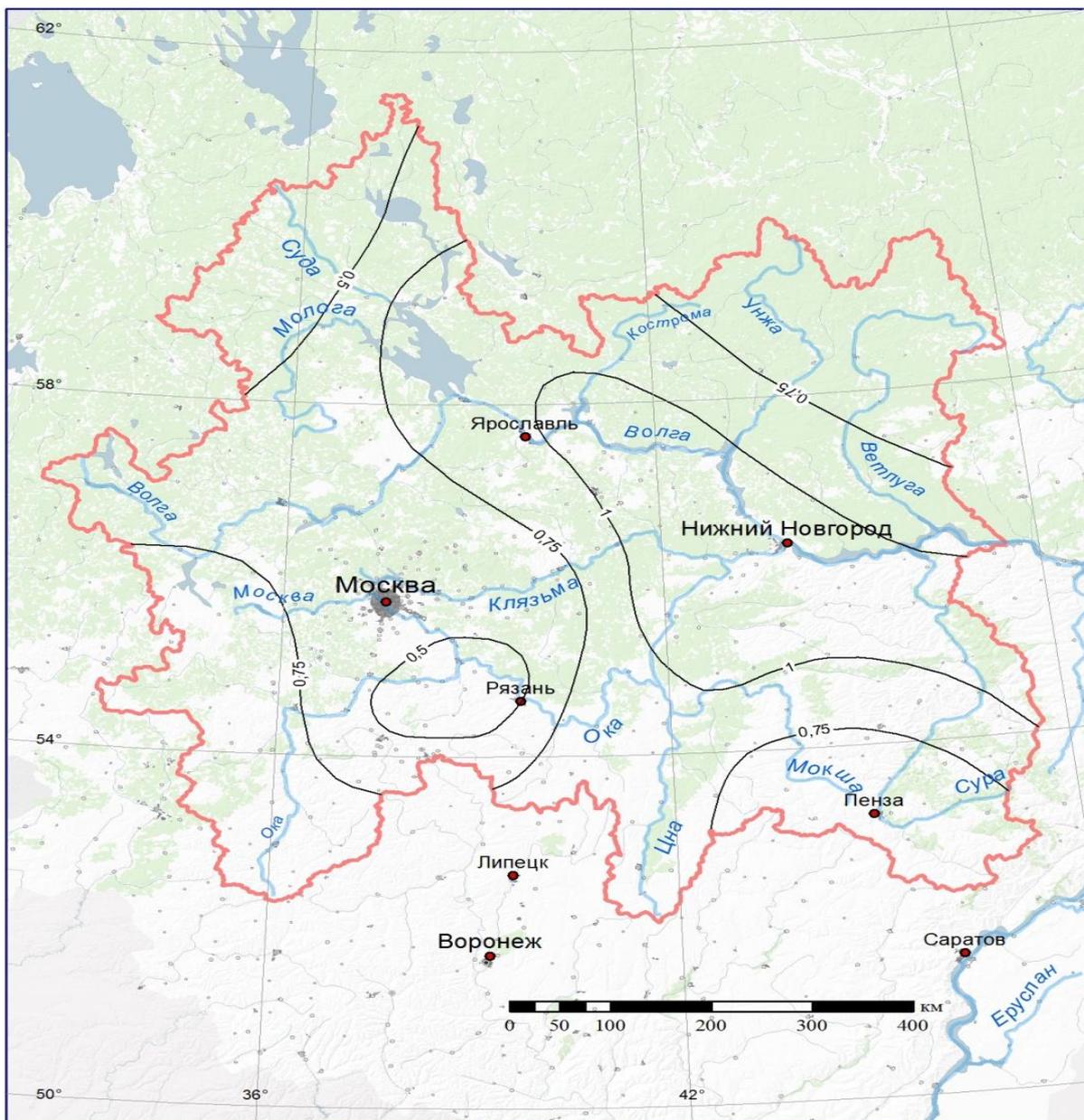


Рисунок 7.3 – Коэффициенты вариации максимального слоя дождевых паводков рек бассейна Верхней Волги

При построении карт использовались стандартные способы картирования гидрологических величин – расчетные значения относились к центрам тяжести водосборов.

Карты построены по расчетным характеристикам дождевого стока для средних по площади водосборов рек, как правило, это реки с площадями водосборов от 500 до 50 000 км². Наибольшие по району модули дождевого стока и слои стока дождевых паводков характерны для левобережных рек бассейна р. Волга, в северо-западной и северной частях выделенного района (рисунки 7.1–7.2). Изменчивость слоя стока дождевых паводков колеблется в пределах от 0,5 в бассейнах рек Сура, Молога до 1,0 в бассейне р. Ока (рисунок 7.3).

8 МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК

8.1 Условия формирования минимального стока

Минимальные расходы воды наблюдаются в периоды, когда питание рек осуществляется в основном за счет притока подземных вод. Поэтому условия водообмена русел рек с подземными водоносными горизонтами и величина естественных ресурсов подземных вод в речных бассейнах являются одними из основных факторов, определяющих минимальный сток рек. Наряду с гидрогеологическими условиями как меженный, так и минимальный месячный и суточный сток зависят от физико-географических факторов – климата, рельефа, характера почв и грунтов, заболоченности, лесистости, озерности водосборов. Большое влияние на величину минимального стока рек может оказывать хозяйственная деятельность. Так, на реках Тверца, Москва, верхнем течении Клязьмы и ряде других режим минимального стока в большой мере определяется степенью регулирования гидротехническими сооружениями и величиной забора и сброса вод.

Влияние изменения в пространстве климатических характеристик проявляется в уменьшении минимального стока с северо-запада на юго-восток, что объясняется как уменьшением подземного питания, так и закономерностью зонального уменьшения атмосферных осадков и увеличения испарения.

На фоне зонального изменения минимального стока отчетливо проявляется влияние рельефа. На возвышенностях в связи с увеличением эрозионного вреза и повышенным увлажнением наблюдается увеличение стока (Валдайская, Среднерусская, Приволжская возвышенности), тогда как в пределах низменных равнин при слабой расчлененности рельефа интенсивность подземного питания, а соответственно, и минимальный сток уменьшаются (Верхневолжская, Молого-Шекснинская низменности).

В гидрогеологическом отношении большая часть района относится к Московскому артезианскому бассейну. Водообильность отложений карбона верховьев р. Волга и ее северных притоков определяет высокую долю подземного, а соответственно, и минимального стока, тогда как в областях распространения маловодных юрских, меловых и пермских отложений, представленных глинами, подземный сток уменьшается. Так снижение минимумов прослеживается в центральной части Верхневолжской низменности и на севере Приволжской возвышенности.

Наиболее значительное влияние гидрогеологических условий а зонального характера проявляется в районах развития карстующихся пород, аллювиальных и флювиогляциальных отложений древних речных долин. Так аномальные величины минимального стока наблюдаются на реках Сережа, Теша, Пьяна, Ушна и Алатырь, где колебания модулей минимального стока объясняются положительным и отрицательным влиянием карста.

По данным наблюдений в бассейнах рек Молога, Суда, Шексна увеличение заболоченности приводит к повышению естественной зарегулированности меженных расходов и увеличению модулей минимального стока рек.

Наличие в бассейне реки проточных озер приводит к повышению минимального стока, величина которого зависит от удаленности водоема от рассматриваемого створа и регулирующего объема озера. Наиболее значительное влияние озерного регулирования проявляется на реках Селижаровка, Пра, Векса, Которосль, Нерль, Меглинка и др.

Краткая характеристика межени. Для режима рек района характерным является наличие двух периодов низкого стока – летне-осенней и зимней межени. Летне-осенняя межень начинается обычно в конце мая – середине июня и оканчивается в октябре – начале ноября. Более поздние сроки наступления межени (июль) характерны для рек северо-западной части района (бассейн рек Суда, Шексна) и для рек, сток которых зарегулирован озерами (Пра, Нерль). Наиболее раннее окончание межени характерно для рек северной части территории (сентябрь), наиболее позднее – для рек южной части района (бассейн Верхней Оки, Цны, Мокши). Средняя продолжительность межени изменяется от 50–60 до 140–160 дней. На реках северо-западной части района средняя продолжительность межени составляет 80–90 дней, в северо-восточной части (бассейны рек Унжа, Ветлуга) – 50–60 дней, в южной части (бассейны Верхней Оки, Мокши, Суры) – 120–160 дней и на остальной территории – 100–140 дней. Продолжительность наиболее маловодного периода в среднем составляет 10–15 дней и только на юго-востоке района увеличивается до 20–30 дней. Сток летне-осенней межени почти ежегодно нарушается дождевыми паводками.

Зимняя межень устанавливается в конце ноября – начале декабря и заканчивается в конце марта – начале апреля. Ранние сроки ее начала в отдельные годы приходятся на конец октября, поздние – на конец декабря (р. Вазуза, р. Орша, р. Корожечна, р. Молога, р. Немда, р. Унжа, р. Ока и др.). Ранние сроки окончания отмечаются в начале марта (р. Гжать, р. Орша, р. Молога, р. Солоница, бассейн р. Ока и др.), поздние – во второй половине апреля. Средняя продолжительность межени для преобладающей части района составляет 120–140 дней, лишь на юге территории она уменьшается до 90–100 дней. Наиболее маловодный период наблюдается обычно в феврале – марте, продолжительность его 15–30 дней. В зимний период в отдельные годы отмечается повышение стока рек за счет снеготаяния при оттепелях.

Определение минимального стока

За основную характеристику минимального стока принимается величина минимального 30-суточного стока – среднее значение минимального стока, определенное за 30 суток с наименьшим стоком в летне-осеннюю или зимнюю межени. Порядок определения минимального 30-суточного расхода воды следующий: на гидрографе стока или по таблицам ежедневных расходов воды устанавливаются сутки с наименьшим стоком в данном сезоне и, двигаясь от этого расхода влево

и вправо, устанавливается период в 30 суток с наименьшим стоком, т. е. 30-суточный период является непрерывным.

8.2 Минимальный летне-осенний сток

8.2.1 Исходные данные

Исходными данными для расчетов значений минимального стока рек бассейна Верхней Волги заданной обеспеченности послужили ежегодные данные о минимальном 30-суточном и суточном летне-осеннем стоке рек по постам, в том числе закрытым. Информация о них, а также продолжительность наблюдений за минимальным стоком, характерные значения стока (наибольший и наименьший расход и соответствующие им годы) приведены в Приложении А.11 и А.12. Минимальный суточный летне-осенний или зимний сток – наименьшие расходы воды за летне-осенний или зимний меженные периоды.

Минимальный 30-суточный летне-осенний сток. Анализ данных наблюдений о минимальном стоке выполнен по 375 постам с площадями водосборов от 0,07 км² (лог Лесной – д. Лызлово) до 244 000 км² (р. Ока – г. Горбатов).

Период наблюдений на постах составляет от 1 года до 130 лет. Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км², средняя продолжительность наблюдений на которых составляет 53 года. Средняя продолжительность периода наблюдений на малых реках с площадью водосбора менее 100 км² равна 26 годам.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах выполнено приведение рядов минимальных расходов воды к многолетнему периоду. В результате средняя продолжительность рядов характеристик минимального стока составила 78 лет, а длина рядов увеличилась в среднем на 37 лет.

Минимальный суточный летне-осенний сток. Анализ исходных данных по 433 постам показал, что период наблюдений за минимальными суточными расходами воды составляет от 1 до 129 лет. Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км², средняя продолжительность которых составляет 53 года. Для рек с площадью водосбора 100–2000 км² средняя продолжительность периода равна 37 годам, а для рек с площадью водосбора менее 100 км² – 19 лет.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах было выполнено приведение рядов минимальных расходов воды к многолетнему периоду. В результате продления средняя продолжительность рядов характеристик минимального стока составила 75 лет, а длина рядов увеличилась в среднем на 33 года.

8.2.2 Однородность и стационарность

В соответствии с [6] необходимым условием объективной статистической обработки гидрологических рядов для получения расчетных значений стока является анализ однородности временных рядов. Оценка однородности рядов минимального 30-суточного стока рек рассчитана по 245 рядам наблюдений. По результатам анализа выявлено значительное число рядов минимального стока, неоднородных по среднему и дисперсии. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 64 % случаев, по критерию Фишера – в 45 % случаев.

Оценка однородности рядов минимального суточного стока рек рассчитана по 307 рядам наблюдений. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 70 % случаев, по критерию Фишера – в 55 % случаев.

Нестационарность временных рядов может быть вызвана как хозяйственной деятельностью на водосборах, так и изменением природных условий формирования минимального стока рек. Анализ многолетних колебаний минимального стока рек бассейна Верхней Волги позволил выделить положительные тренды в рядах минимальных расходов воды с 70-х годов прошлого века. С 1978 по 2010 год увеличение нормы минимального 30-суточного летне-осеннего стока рек относительно предыдущего периода составило в среднем порядка 60 % (рисунок 8.1).

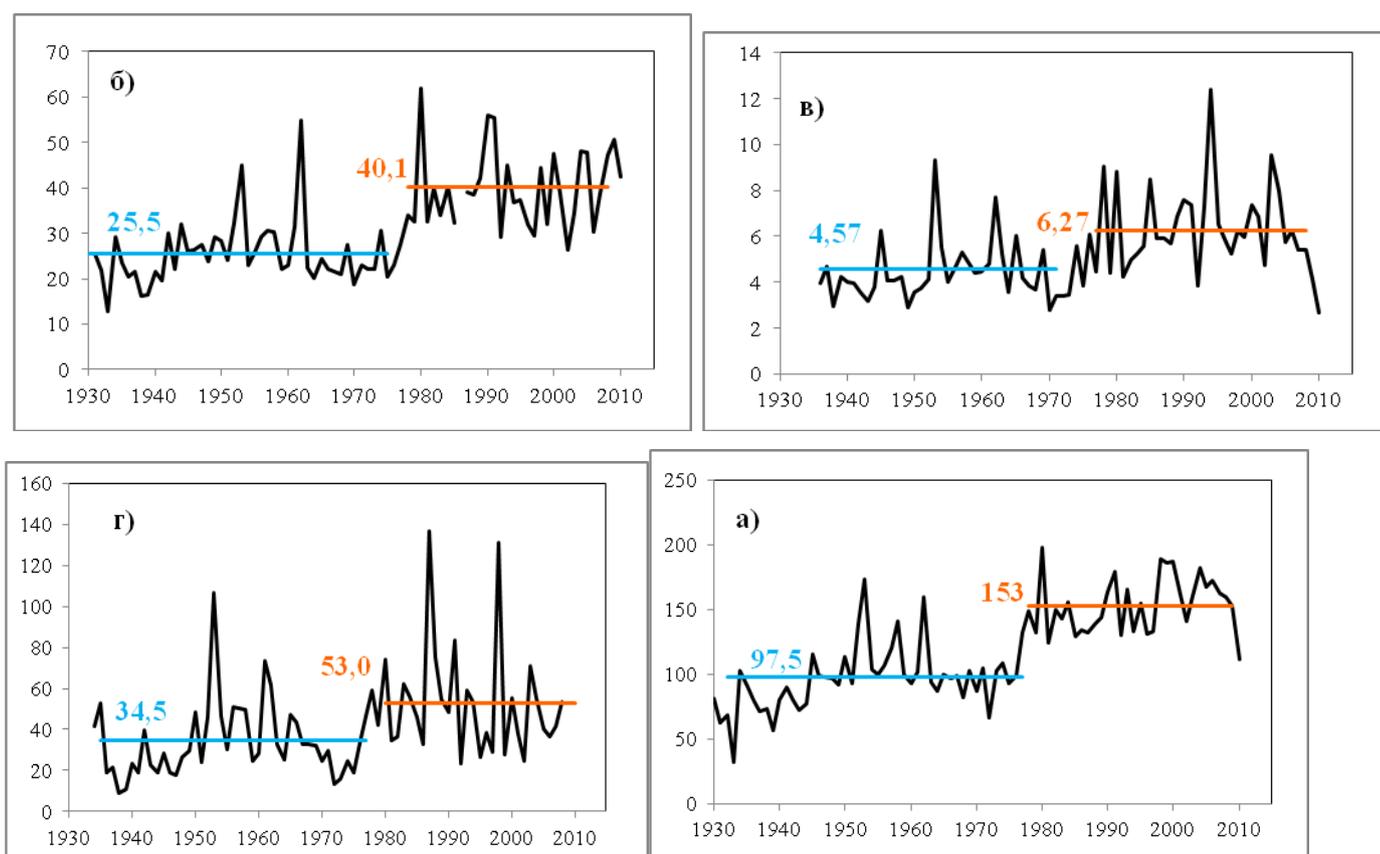


Рисунок 8.1 – Многолетние изменения минимальных летне-осенних 30-суточных расходов воды (м³/с) для рек бассейна Верхней Волги

Горизонтальными линиями показаны средние значения за периоды до (синий) и после 1978 г (красный цвет) а) р. Ока – г. Калуга ($F = 54\,900\text{ км}^2$); б) р. Угра – пгт Товарково ($F = 15\,300\text{ км}^2$); в) р. Керженец – с. Хахалы ($F = 3630\text{ км}^2$); г) р. Молога – г. Устюжна ($F = 19\,100\text{ км}^2$)

Рост минимального стока отмечается по всей территории, наиболее значительное увеличение по среднему значению и по дисперсии произошло в южных частях бассейна Верхней Волги (бассейны рек Ока, Клязьма и др). Общий характер изменений минимального суточного стока рек в целом повторяет тенденцию изменения минимального 30-суточного стока.

Увеличение стока произошло на реках с разными водосборными площадями, но особенно на малых реках с площадями до 1000 км². Рост нормы минимального 30-суточного стока таких рек в летнюю межень составил более 80 %. На реках площадью водосборов более 10 000 км² минимальные расходы рек в теплый период года выросли почти на 50 %.

Рост минимального стока рек сказался на увеличении числа меженных максимумов в последние десятилетия. При этом меженные минимумы остались прежними, зафиксированными до 1978 года. Увеличение меженного стока последних десятилетий в многолетних рядах данных сопровождалось увеличением вариации этой характеристики. Сравнение коэффициентов вариации минимального стока показало рост C_v по сравнению с периодом до 1978 года. Например, C_v минимального 30-суточного летне-осеннего стока для р. Обнора – с. Шарна за период 1936–1978 гг. составлял 0,30, за весь период наблюдений 1936–2010 гг. $C_v = 0,49$; для р. Нерунь – д. Орловка за период 1949–1978 гг. $C_v = 0,34$, за период 1949–2010 гг. $C_v = 0,43$, для р. Клязьма – г. Владимир за период 1917–1978 гг. $C_v = 0,37$, за период 1917–2010 гг. $C_v = 0,55$.

8.2.3 Расчетные параметры распределения

По всем рядам наблюдения, включая приведенные к многолетнему периоду, определены параметры кривых распределения вероятностей превышения. При расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности для однородных рядов использованы аналитические кривые обеспеченности (распределение Крицкого – Менкеля, распределение Пирсона III типа). При неоднородных рядах расчет значений стока различной обеспеченности проводился по составным кривым распределения [6].

Расчетные параметры и значения минимальных расходов воды представлены в таблицах Приложения А.11, А.12.

Минимальный 30-суточный летне-осенний сток. Модуль минимального 30-суточного расхода воды изменяется по территории водосбора Верхней Волги от 0 (лог Полевой – д. Лызлово $F = 0,11$ км², лог Лесной – д. Лызлово $F = 0,07$ км²) до 5,7 л/сек км² (р. Селижаровка – д. Яровинка $F = 2390$ км²). Средняя квадратическая погрешность его расчета составляет 7 % и колеблется в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются в широких пределах от 0,2 до 1,6, при средней погрешности расчета 10 % и ее колебаниях в пределах 5–25 %.

Оценки коэффициента асимметрии не дают устойчивого соотношения C_s/C_v , значения которого колеблются в широких пределах от –2 до 6, для половины пунктов преобладающие

значения соотношения коэффициентов вариации и асимметрии составляют 2–3. Отрицательные соотношения C_s/C_v , отмечаются на отдельных реках, в формировании стока которых участвуют водоносные горизонты с ограниченными естественными ресурсами подземных вод. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,30, изменяясь от 0,02 до 0,89.

Минимальный суточный летне-осенний сток рек. Модуль минимального суточного расхода воды изменяется от 0 (лог Полевой – д. Лызлово $F = 0,11 \text{ км}^2$, лог Лесной – д. Лызлово $F = 0,07 \text{ км}^2$) до 8,1 л/сек км^2 (р. Сарма – Сарминский Майдан $F = 741 \text{ км}^2$). Среднеквадратическая погрешность его расчета находится в пределах 5–25 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,2 до 1,9 при погрешности расчета 5–25 %. Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от –2 до 6, в половине случаев – от 2 до 3,5. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для рек со сложными гидрогеологическими условиями формирования стока. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,39, изменяясь от 0,02 до 0,94. В результате выполненных проработок в целом существенно повысилась обоснованность параметров кривых распределения стока в пунктах наблюдений по сравнению с ранее имевшейся информацией [2]. Уточнение характеристик стока осуществлено в результате использования удлиненных почти в 1,5 раза рядов наблюдений, применения более широкого спектра статистических методов обработки данных.

8.3 Минимальный зимний сток

8.3.1 Исходные данные

Для расчета расходов минимального стока рек бассейна Верхней Волги заданной обеспеченности исходными данными послужили ежегодные данные о минимальном 30-суточном и суточном зимнем стоке рек по постам, в том числе и закрытым. Информация о них, а также продолжительность наблюдений за минимальным зимним стоком, характерные значения стока (наибольший и наименьший расход и соответствующие им годы) приведены в Приложениях А.13 и А.14.

Минимальный 30-суточный зимний сток. Анализ данных наблюдений о минимальном стоке выполнен по 268 постам с площадями водосборов от 0,07 км^2 (лог Лесной – д. Лызлово) до 244 000 км^2 (р. Ока – г. Горбатов).

Период наблюдений на постах составляет от 1 года (р. Нара – г. Наро-Фоминск) до 127 лет (р. Ока – г. Калуга). Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км^2 , средняя продолжительность наблюдений на которых составляет 49 лет. Средняя продолжительность периода наблюдений на малых реках с площадью водосбора менее 100 км^2 равна 21 году.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах выполнено приведение рядов минимальных расходов к многолетнему периоду. В результате средняя

продолжительность рядов характеристик минимального стока составила 50 лет, а длина ряда увеличилась в среднем на 12 лет.

Минимальный суточный зимний сток. Анализ исходных данных по 307 постам показал, что период наблюдений за минимальными расходами воды составляет от 1 года (р. Кешма – г. Галич) до 129 лет (р. Ока – г. Калуга). Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км², средняя продолжительность рядов наблюдений на которых составляет 47 лет. Для рек с площадью водосбора 100–2000 км² средняя продолжительность периода равна 31 год, а для рек с площадью водосбора менее 100 км² – 19 лет.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах выполнено приведение рядов минимальных расходов к многолетнему периоду. В результате средняя продолжительность рядов характеристик минимального стока составила 56 лет, а длина ряда увеличилась в среднем на 15 лет.

8.3.2 Однородность и стационарность

Оценка однородности рядов минимального 30-суточного стока рек рассчитана по 150 рядам наблюдений. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 88 % случаев, по критерию Фишера – в 66 % случаев. Оценка однородности рядов минимального суточного стока рек рассчитана по 165 рядам наблюдений. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 80 % случаев, по критерию Фишера – в 61 % случаев.

Анализ однородности рядов свидетельствует о значительных изменениях в условиях формирования зимнего стока за современный период (1978–2010 гг.). Прослеживается увеличение минимального зимнего стока, как 30-суточного, так и суточного по отношению к периоду до 1978 г. Наибольшее увеличение по среднему значению произошло в северной и северо-западной частях бассейна Верхней Волги (реки Тверца, Молога, Унжа, Кострома). Здесь сток увеличился на 100–150 %. На остальной территории наблюдаются изменения в 50–100 % (рисунок 8.2).

Важной характеристикой современных изменений является резкое, по сравнению с предшествующим многолетним периодом, увеличение изменчивости минимального зимнего стока рек, когда наряду с экстремально высоким стоком в отдельные годы наблюдается и очень низкая водность.

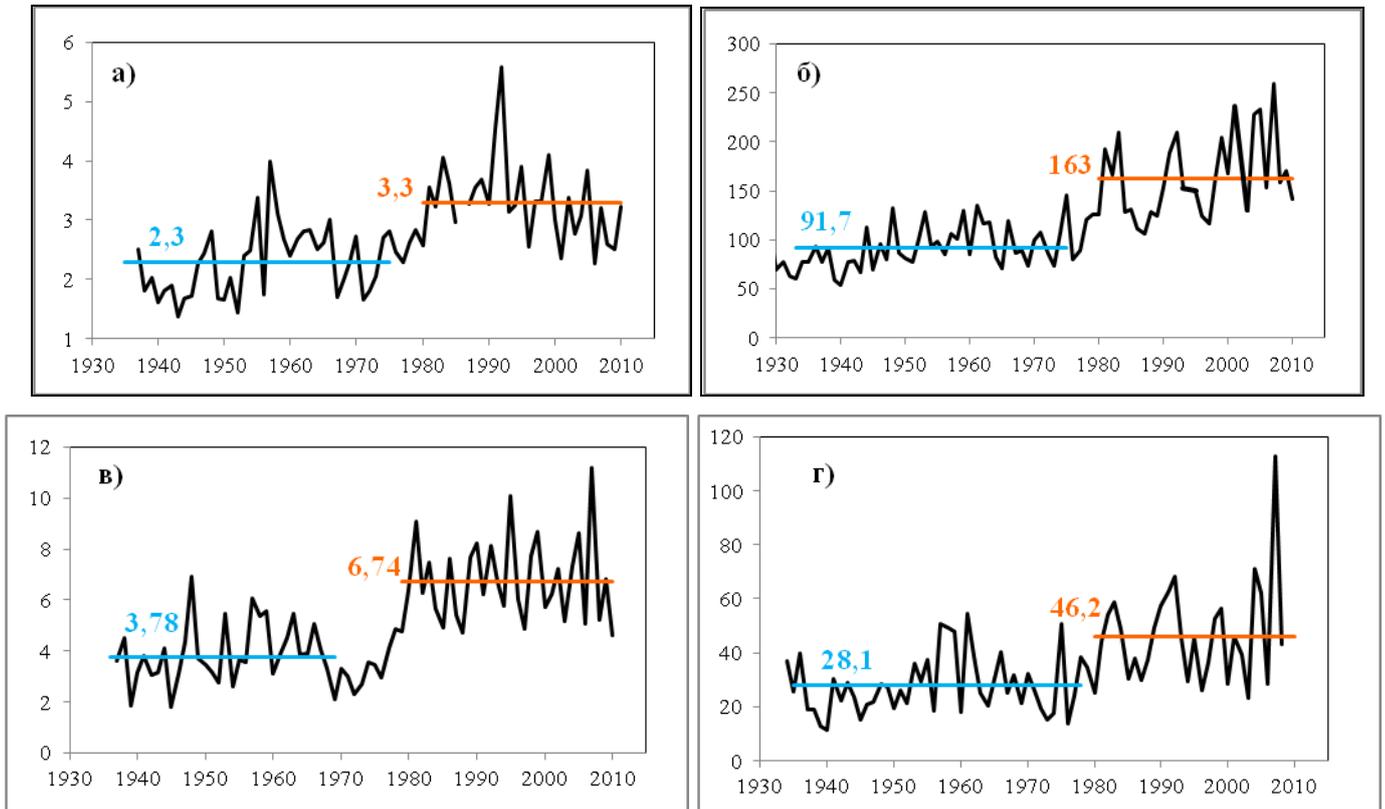


Рисунок 8.2 – Многолетние изменения минимальных зимних 30-суточных расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Верхней Волги
 Горизонтальными линиями показаны средние значения за периоды до (синий цвет) и после 1978 г. (красный цвет) а) р. Обнора – с. Шарна ($F = 1800 \text{ км}^2$); б) р. Ока – г. Калуга ($F = 54\,900 \text{ км}^2$); в) р. Керженец – с. Хахалы ($F = 3630 \text{ км}^2$); г) р. Молога – г. Устюжна ($F = 19100 \text{ км}^2$)

8.3.3 Расчетные параметры распределения

По всем рядам наблюдения, включая приведенные к многолетнему периоду, определены параметры кривых распределения вероятностей превышения.

Расчетные параметры и значения минимальных расходов воды заданной вероятности превышения представлены в таблицах Приложений А.13, А.14.

Минимальный 30-суточный зимний сток. Модуль минимального 30-суточного расхода воды изменяется по территории бассейна Верхней Волги от 0 (лог Лесно – д. Лызлово, $F = 0,07 \text{ км}^2$) до $20,4 \text{ л/сек км}^2$ (р. Тверца – д. Ряд, $F = 594 \text{ км}^2$). Средняя квадратическая погрешность его расчета составляет 9 % и изменяется для отдельных многолетних рядов данных в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,1 до 2,2 при средней погрешности расчета 7 % и ее изменении для разных рядов данных в диапазоне 5–25 %. Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от 1 до 4. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для отдельных районов западной, северо-западной и восточной части территории, на это соотношение существенное влияние оказывают местные

гидрогеологические условия. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,46, изменяясь от 0,03 до 0,92.

Минимальный суточный сток рек. Значение модуля минимального суточного расхода воды для рек данного бассейна изменяется от его нулевых значений на перемерзающих водотоках (лог Провалы – с. Войново, $F = 5,3 \text{ км}^2$) до 13,6 л/сек км^2 (р. Тверца – д. Ряд, $F = 594 \text{ км}^2$). Средняя квадратическая погрешность его расчета составляет 8 % при изменениях в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,2 до 1,8 при средней погрешности 8 % и ее колебании в пределах 5–20 %. Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от 2 до 4. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для отдельных районов западной, северо-западной и восточной части территории, на это соотношение существенное влияние оказывают гидрогеологические условия. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,47, изменяясь от 0,02 до 0,92.

8.4 Карты расчетных параметров

На основании расчетных характеристик стока рек выполнено построение карт распределения:

- минимального 30-суточного стока рек 80%-ной вероятности превышения за летне-осенний и зимний периоды;
- коэффициента вариации минимального 30-суточного стока рек за летне-осенний и зимний периоды.

Карты расчетных параметров основных гидрологических характеристик минимального стока для бассейнов рек Верхней Волги приведены на рисунках 8.3–8.6.

При построении карт использовались ГИС-технологии. Расчетные значения относились к центрам тяжести водосборов. Метод картирования изложен в разделе 3.7.

Карты построены по расчетным характеристикам пунктов наблюдений на реках с площадью водосборов более 2000 км^2 . Информация по малым рекам для картографирования не использовалась, так как их сток формируется при неполном дренировании водоносных горизонтов и зависит от азональных гидрогеологических условий.

Минимальный 30-суточный летне-осенний сток зонально уменьшается с северо-запада на юго-восток территории от 2,5 до 1,0–0,5 л/сек км^2 .

Наименее благоприятны условия формирования минимального стока в районах Молого-Шекснинской, Верхневолжской и Мещерской низменностей, в пределах которых речная сеть относительно слабо врезана. Средние модули стока здесь 1,0–1,5 л/сек км^2 . В восточной части территории минимальный сток уменьшается от 2,5–2,0 л/сек км^2 в бассейне р. Ветлуга до 1,0–0,5 л/сек км^2 в бассейн р. Сура.

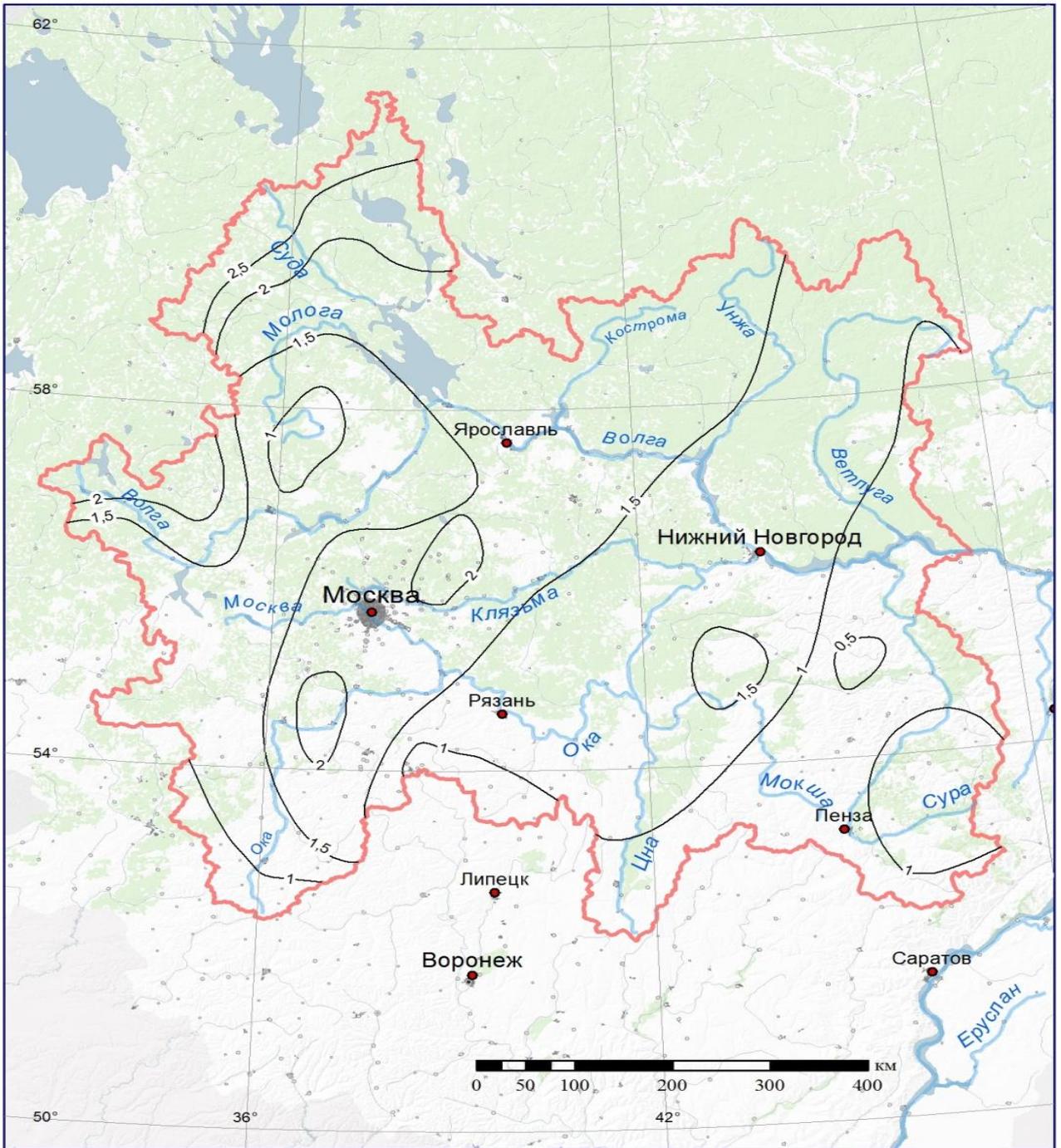


Рисунок 8.3 – Минимальный 30-суточный летне-осенний сток вероятностью превышения 80 % рек бассейна Верхней Волги, л/сек км²

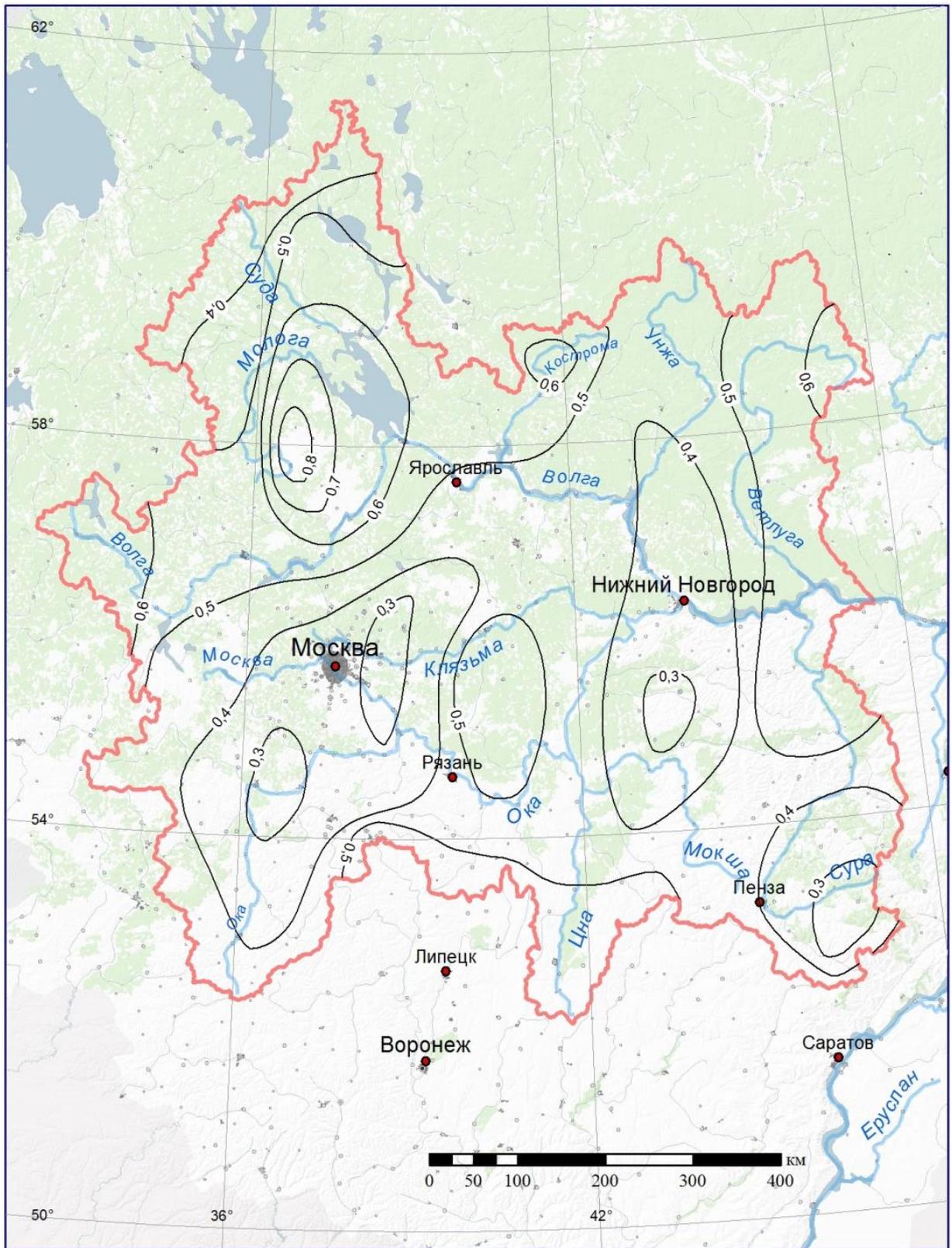


Рисунок 8.4 – Коэффициенты вариации минимального 30-суточного летне-осеннего стока рек бассейна Верхней Волги

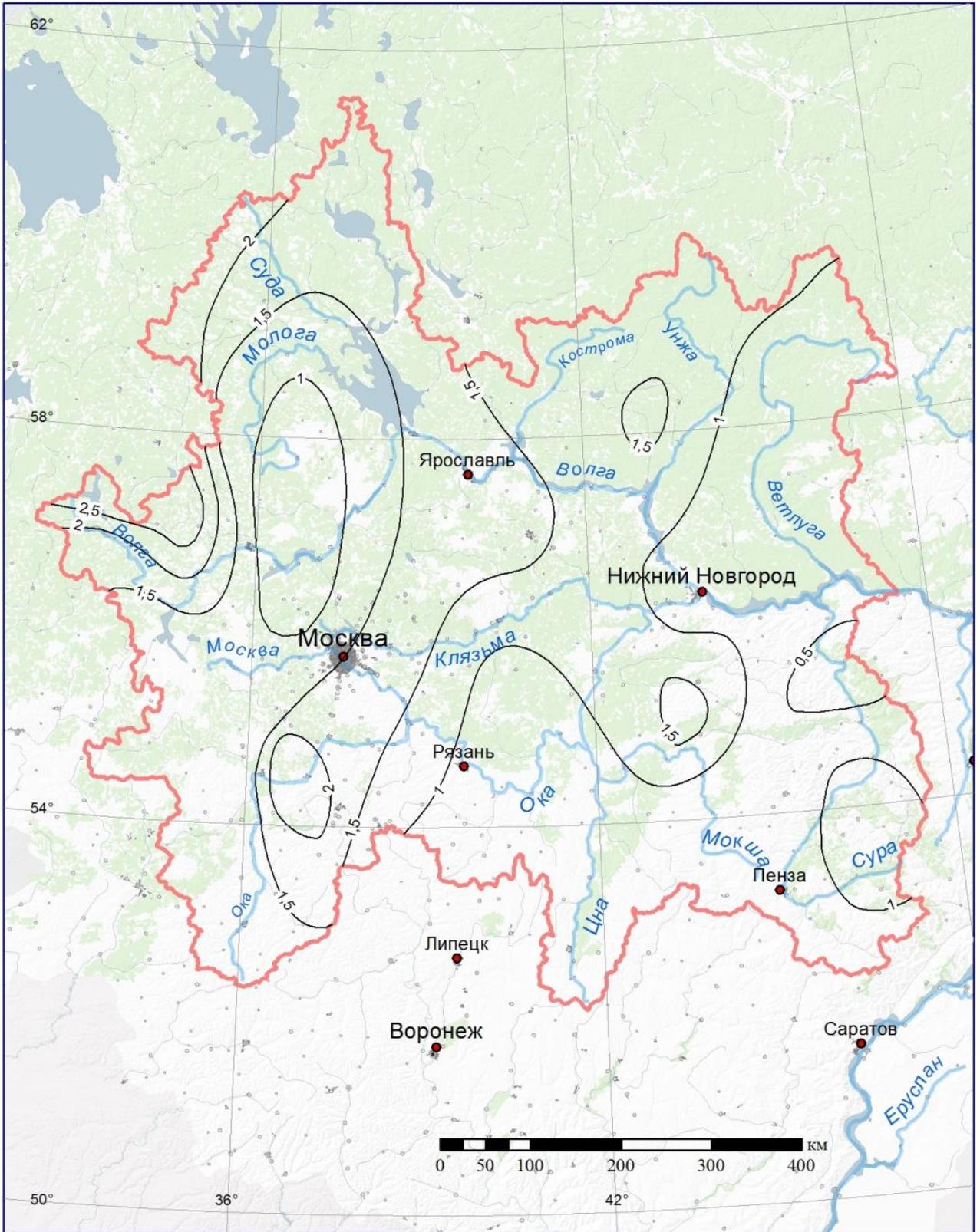


Рисунок 8.5 – Минимальный 30-суточный зимний сток вероятностью превышения 80 % рек бассейна Верхней Волги, л/сек км²

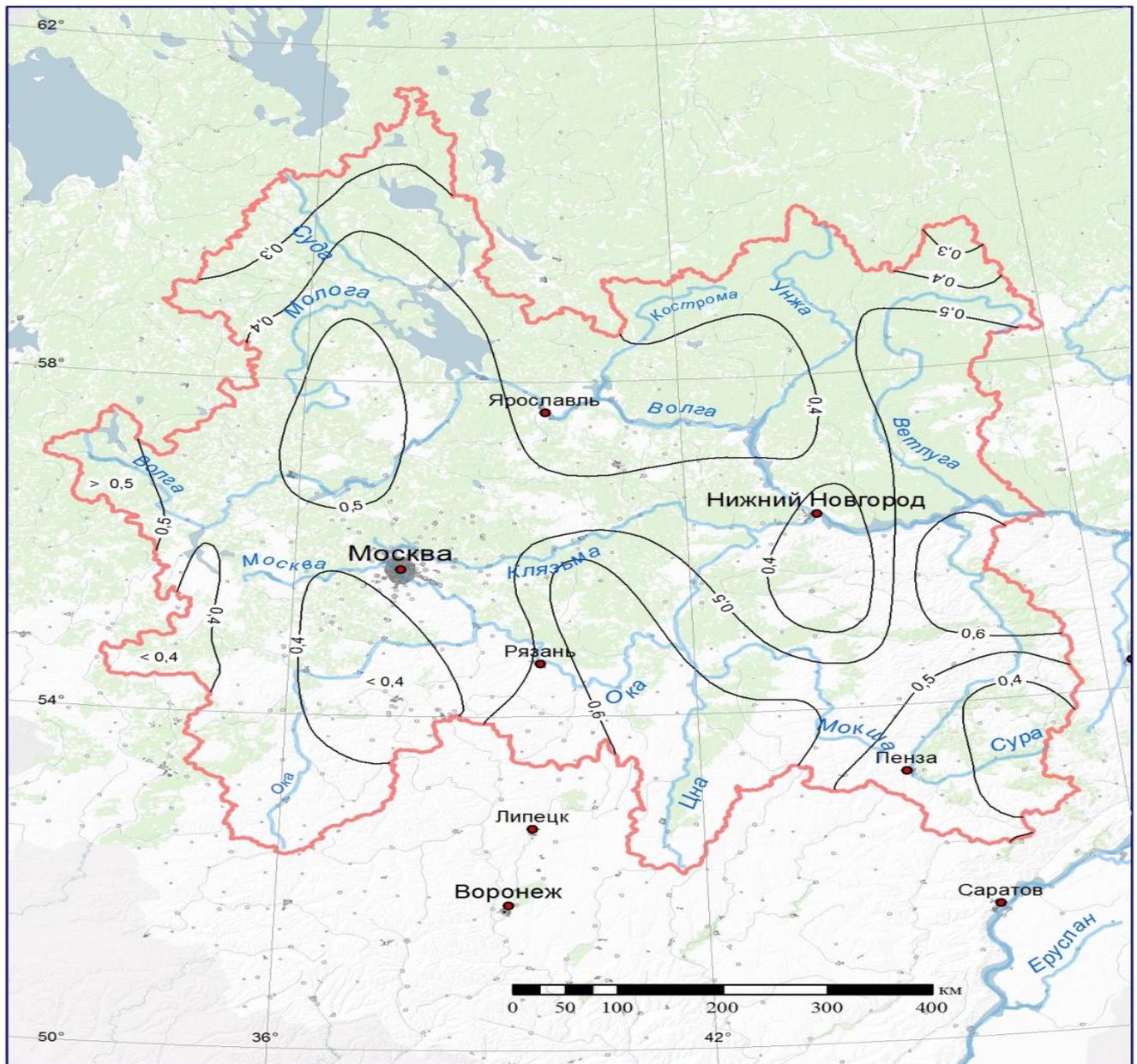


Рисунок 8.6 – Коэффициенты вариации минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна Верхней Волги

В районе Алатырского поднятия в междуречье Оки, Мокши и Суры развитие карста определяет высокие модули минимального стока (6 л/сек км^2 и более). На небольших реках в бассейнах рек Серези, Теши, Пьяны, Тезы модули стока составляют до $0,5 \text{ л/сек км}^2$.

В центральной части Московского артезианского бассейна (бассейн р. Москва, верховья рек Протвы и Нары) величина модуля минимального стока падает до $1\text{--}1,5 \text{ л/сек км}^2$ и ниже. Отложения карбона, содержащие основные горизонты пресных вод, погружаются на большую глубину и перекрываются мощной толщей мезозойских и четвертичных пород.

На фоне зонального изменения минимального стока выделяется его повышение в пределах Валдайской, Среднерусской и Приволжской возвышенностях, где наиболее благоприятные условия питания водоносных горизонтов и формирования минимального стока рек, так как в

пределах этих возвышенностей выпадает наибольшее количество осадков. Здесь модули минимального стока рек колеблются в диапазоне 1,5–2,5 л/сек км². Повышенные значения модулей минимального 30-суточного стока отмечаются в районах с благоприятными гидрогеологическими условиями для формирования подземного стока. Так, в бассейне рек Упа и Зуша сток в два раза выше зонального за счет значительной обводненности горизонтов грунтовых вод, дренируемых реками. По этой же причине прослеживается увеличение стока в междуречье Костромы и Унжи, а также на левобережье реки Клязьма.

При пространственном обобщении коэффициента C_v наблюдается большое разнообразие. Коэффициенты вариации минимального стока изменяются в пределах 0,3–0,8 и в среднем составляют 0,4–0,5. Наибольшие значения C_v характерны для северо-запада района. Высокая изменчивость минимального стока в летнюю межень отмечается на реках Ветлуга и Молога, что связано с малой величиной подземного питания рек. Наименьшие значения C_v отмечаются в бассейнах рек Клязьма, Теша, Ока, Сура, Москва, Суда, Уза, что объясняется устойчивыми условиями подземного питания рек в летне-осеннюю межень.

Минимальный 30-суточный зимний сток уменьшаются с северо-запада на юго-восток от 2,5–3 л/сек км² до 0,5–1 л/сек км². Центральная часть характеризуется величинами 1,0–1,5 л/сек км².

Высокие значения модулей зимнего минимального стока в бассейнах рек Молога, Шексна и Суда и значительная зарегулированность меженных расходов определяются комплексом факторов – высоким горизонтов грунтовых вод, песчаными почвами, наличием болот, озер, карста. Повышенный сток в бассейнах Зуши и Упы, на левобережных притоках Клязьмы на Окско-Волжско-Сурском междуречье объясняется наличием в районе карста. Наиболее благоприятны условия питания подземных вод и формирования минимального стока в районе Валдайской и Среднерусской возвышенностей. Здесь широко развиты залегающие близко к поверхности трещиноватые, местами закарстованные известняки девона дренируемые густой эрозионной сетью. Модуль стока в этих районах составляет 1,5–2,0 л/сек км². Наименее благоприятны условия питания подземных вод в Молого-Шекснинской низменности. Речная сеть на плоской заболоченной поверхности низины врезана слабо, развита в породах четвертичного возраста или верхней толще песчано-глинистых отложений юры и мела. Водоносные горизонты в флювиогляциальных песках не постоянны по мощности и не выдержаны по простиранию, характеризуются неравномерностью или слабой обводненностью. Питание юрско-меловых вод часто затруднено залегающими у поверхности моренными суглинками. Модули минимального стока составляют 1,0–1,5 л/сек км², минимальные суточные модули значительно ниже 0,5 л/сек км². Несмотря на трудность обобщения коэффициента C_v минимального зимнего стока удалось выявить общие черты распределения данной характеристики по территории. В целом коэффициенты вариации постепенно увеличиваются с северо-запада на юго-восток от 0,3 до 0,6.

Большая часть территории характеризуется коэффициентами вариации 0,4–0,5. Наибольшие значения C_v отмечаются на реках Пра и Пьяна, что связано с небольшой величиной подземного питания рек. Наименьшие значения r . Сура, р. Суда, р. Чагодоща, р. Немда и др. обеспечиваются устойчивым подземным питанием рек.

9. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА ПО СООТНОШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА

Для постов, расположенных в Верхневолжском бассейне, было выполнено районирование территории по соотношению C_s/C_v максимальных расходов весеннего половодья на основе методики, рекомендованной в [6; 7].

Были выбраны 146 гидрологических постов, находящихся в регионе, с площадями водосборов в диапазоне от 500 до 50 000 км² и продолжительностью наблюдений более 25 лет. Для расчетов использованы данные о максимальном срочном расходе воды в период половодья. Используемая методика совместного анализа подробно изложена в разделе 3.8. Всего было выделено 8 районов. Для всех постов были получены параметры объединенной совокупности для каждого района (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Параметры объединенной совокупности для районов бассейна Верхней Волги

№ района	Число постов в районе	C_s/C_v среднее	Дисперсия			
			полная	случайная	географическая	для объединенной совокупности $\varepsilon_{об.}^2$
1	12	3,7	1,575	1,604	-0,030	0,13368
2	26	1,5	0,292	1,517	-1,224	0,05833
3	19	1,9	0,394	1,021	-0,627	0,05374
4	11	3,3	1,511	1,431	0,080	0,20999
5	28	1,5	0,338	1,234	-0,897	0,04408
6	17	2,9	0,845	1,185	-0,339	0,06969
7	18	2,2	0,885	1,233	-0,349	0,06852
8	15	1,7	0,499	1,177	-0,678	0,07849

В результате районирования построена карта-схема расположения гидрологических постов с выделенными однородными районами по соотношению C_s/C_v для бассейнов рек Верхневолжского региона (рисунок 9.1).

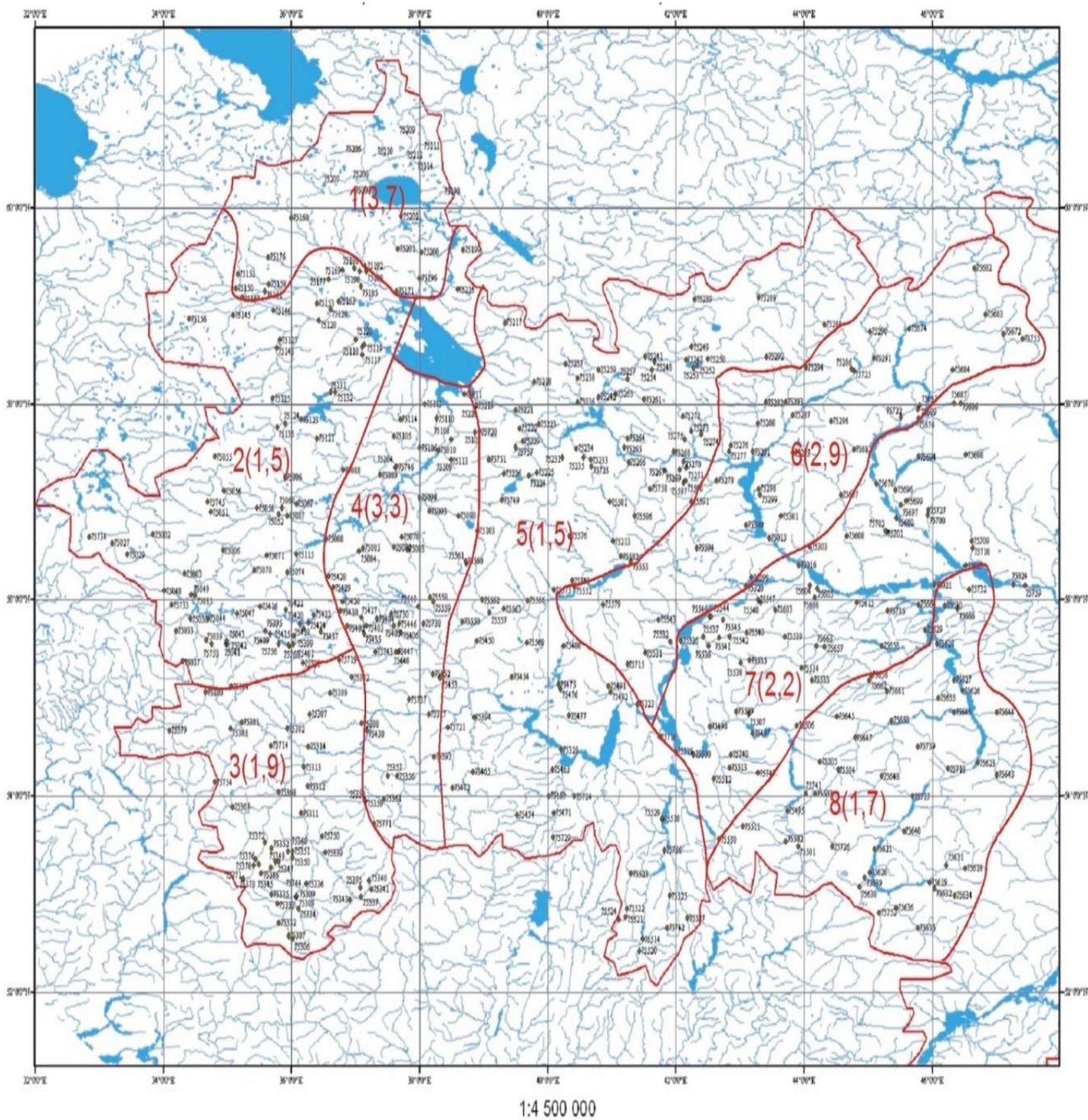


Рисунок 9.1 – Карта-схема расположения гидрологических постов с выделенными однородными районами по соотношению C_s/C_v максимальных расходов весеннего половодья для бассейнов рек Верхневолжского региона

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем научно-прикладном справочнике представлена информация по 462 гидрологическим постам, полученная по данным гидрометрических наблюдений от их начала до 2010 года. Это данные по годовому стоку и внутригодовому распределению, максимальному стоку и слоям стока весеннего половодья, максимальному стоку дождевых паводков, минимальному стоку за зимний и летний периоды. Пропуски в наблюдениях были восстановлены по регрессионным связям, т. е. выполнено приведение исходных данных к многолетнему периоду.

Многолетние ряды данных проанализированы на однородность и стационарность по статистическим критериям, адаптированным к гидрологической информации, с учетом асимметрии и внутри рядной связанности рядов (автокорреляции). Наблюдающиеся многолетние изменения годового стока рек бассейна Верхней Волги не противоречат гипотезе стационарности и находятся в пределах естественной изменчивости.

Выявлено, что ряды максимального стока и слоев весеннего половодья, минимального зимнего и летне-осеннего стока на значительной части постов бассейна Верхней Волги являются неоднородными. Главной причиной неоднородности является начавшееся с середины 70-х годов прошлого столетия потепление, которое изменило условия формирования стока. Повышение зимней температуры привело к возрастанию количества и продолжительности зимних оттепелей, во время которых происходит снеготаяние и водоотдача из снежного покрова, пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока [41]. В результате сток рек в течение зимнего периода возрастает, а запасы воды в снежном покрове к началу весны уменьшаются, что создает условия для снижения стока весеннего половодья.

Помимо непосредственного влияния на зимний сток оттепелей, определенный вклад в повышение стока при потеплении зим вносят:

- уменьшение аккумуляции влаги на водосборе в сезонно-мерзлом слое за счет снижения миграции ее к фронту промерзания почво-грунтов;
- снижение объема стока, аккумулируемого в ледяном покрове рек;
- увеличение дренирующей способности гидрографической сети при увеличении ее пропускной способности в результате уменьшения толщины ледяного покрова [57].

По рядам наблюдений для всех характеристик стока, приведенным к многолетнему периоду, рассчитаны статистические параметры: среднее значение, коэффициенты вариации, асимметрии и автокорреляции и расчетные значения стока заданной обеспеченности, их средние квадратические погрешности. При неоднородности данных гидрометрических наблюдений, эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливались отдельно для каждой однородной

совокупности. Общая кривая распределения вероятности превышения рассчитывалась на основе кривых, установленных по однородным рядам. Разработаны актуализированные карты параметров основных гидрологических характеристик.

Сведения, приведенные в справочнике, отражают характеристики водного режима, полученные по данным за весь период наблюдений с учетом современных изменений гидрологических и климатических условий.

По мере накопления новой гидрологической информации, прохождения выдающихся гидрологических явлений, возможного изменения климатических факторов необходимо проводить уточнение расчетных параметров и карт основных гидрологических характеристик в соответствии с СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. – М.: НИИ-Природа, 2009, 40 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 10, Верхне-Волжский район, книги 1-2/ М., Гидрометеоздат, 1973.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик/ Л.: Гидрометеоздат, 1984, 445 с.
4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик/ М. Госстрой России, 2004, с. 73.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений/ Типография «Вектор-ТиС», Нижний Новгород, 2007, 134 с.
6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений/ Ротопринт ГМЦ РФ ААНИИ, СПб, 2007, 66 с.
7. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений/ СПб, Нестор-История, 2009, 193 с.
8. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным/ СПб, Нестор-История, 2010. – 162 с.
9. Кокорев А. В., Рождественский А. В. Лобанова А. Г. Автоматизированная система обобщения основных гидрологических характеристик в пунктах гидрометрических наблюдений за многолетний период. / Метеорология и гидрология. 2012. № 3, с.84–95.
10. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2009. Harmonized World Soil Database (version 1.1). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. 38 p.
11. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта/ М.: 1999. – 610 с.
12. Тонконогов В. Д. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России/М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 1999. – 156 с.
13. Почвенно-геологические условия Нечерноземья/ М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 608 с.
14. Stolbovoi V., and I. McCallum, 2002. CD-ROM "Land Resources of Russia", International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria.
15. Arc Atlas: Our Earth. Copyright © 1996 Environmental Systems Research Institute, Inc. and DATA+ All Rights Reserved.

16. Классификация и диагностика почв СССР/ М.: Колос, 1977. – 225 с.
17. Tempel P., N.H. Batjes and V.W.P. van Engelen, 1996. IGBP-DIS soil data set for pedotransfer function development. Working paper and Preprint 96/05, International Soil Reference and information Centre (ISRIC), Wageningen.
18. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Карта. Масштаб 1:8000000 / Гл. редактор Г. Н. Огуреева. М.: Изд-во ТОО «ЭКОР», 1999.
19. Герасимова М. И., Огуреева Г. Н. Подходы к изучению экосистем бассейна малой реки /Экосистемы широколиственно-хвойных лесов Южного Подмосковья М., 2006, с. 9–20.
20. Огуреева Г. Н., Даниленко А. К., Леонова Н. Б., Румянцев В. Ю. Биомное разнообразие и экорегионы России / География, общество и окружающая среда. Том 3: Природные ресурсы, их использование и охрана. М.: «Городец», 2004, с. 392–398.
21. Растительность Европейской части СССР/ Л.: Наука, 1980,429 с.
22. Денисов А. К. Лесные пожары в лесном Среднем Заволжье в 1921 и 1972 гг. и их уроки // Горение и пожары в лесу. Ч.3. Красноярск: Наука, 1979, с. 20–23.
23. Мартынов А. С., Виноградов В. Г. Площадь лесов и лесные ресурсы / Web-Атлас: «Окружающая среда и здоровье населения России», 1998.
24. Охрана окружающей среды в России: Стат. сб./Росстат. – М., 2008, 253 с.
25. Пименова Г. С., Цыганова О. П. Взаимодействие лесной растительности стока малых рек Московской области // Экологические исследования в Москве и Московской области. М., 1992.
26. Малые реки волжского бассейна /под ред. Н. И. Алексеевского. М.: Географический ф-т МГУ, 1998, 234 с.
27. Подземные воды Мира. Ресурсы, использование, прогнозы /под ред. Зекцера И. С., М.: Наука, 2007,438 с.
28. Карта гидродинамического состояния подземных вод территории Российской Федерации/ ФГУГП «Гидроспецгеология», 2011.
29. Подземный сток Центральной и Восточной Европы/под ред. Коноплянцев А. А. М.: 1982, 288 с.
30. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика /под ред Зекцера И. С. Новосибирск, «Наука» Сибирское отделение, 1982, 242 с.
31. Зекцер И. С., Джамалов Р. Г. Подземные воды в водном балансе крупных регионов/М.: Наука, 1989,124 с.
32. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения/ 1973, 37 с.
33. Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты/ М.: Изд-во МГУ, 1990, 304 с.
34. Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока/ Пермь. Изд-во Пермского университета, 2002, 163 с.

35. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2009 году/ М.: Глобус, 2010, 304 с.
36. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2009 году (Статистический сборник). / под ред. Н. Г. Рыбальского и А. Д. Думнова. М.: НИИ-Природа, 2010, 372 с.
37. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество. Водный кадастр Российской Федерации/ Ежегодное издание, СПб, ООО «Эс Пэ Ха», 2014, 166 с.
38. Водные ресурсы России и их использование/ под ред. И.А. Шикломанова, СПб, 2008, 598 с.
39. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Агафонова С. А., и др. Влияние изменений климата на сток и водный режим рек ЕТР /Матер. Всерос. конф. «Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России» Краснодар: Авангард плюс, 2010, с. 106–116.
40. Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л. Гидрологический режим и водные ресурсы Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем./ М.: Росгидромет, 2012, с. 53–86.
41. Лавров С. А., Калюжный И. А. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока бассейна Волги в условиях изменения климата. / Водные ресурсы № 4,2012, с. 74–84.
42. Алексеевский Н. И., Фролова Н. Л., Антонова М. М., Игонина М. И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги. / Вода: химия и экология № 4, 2013, с.3-12
43. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. / М. Росгидромет, 2014, с. 1009
44. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. / Л.: Гидрометеиздат, 1977, 270 с.
45. Рождественский А. В. и др. Оценка точности гидрологических расчетов./ Л.: Гидрометеиздат, 1990, 276 с.
46. Sibson, R. A vector identity for the Dirichlet tessellation. Math. Proc. Camb. Phil. Soc 87. 1980. pp. 151-155.
47. Sibson, R. Interpreting Multivariate Data. John Wiley & Sons, 1981, ch. A brief description of natural neighbour interpolation, pp. 21-36.
48. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком./М, Наука, 1981.
49. Болгов М. В., Иваньо Я. М. Применение метода совместного анализа к задаче районирования параметров формул максимального стока./ Водные ресурсы. № 5. 1988.

50. Сотникова Л. Ф. Совместный анализ наблюдений за максимальным стоком гидрологически однородных бассейнов различных районов СССР / В кн: Проблемы изучения и комплексного использования водных ресурсов. М., Наука, 1978, с. 45–79.
51. Осипова Н. В. Выбор типа распределения вероятностей для описания максимальных расходов воды рек дождевого питания на примере Каспийского региона. / Вторая научная конференция молодых ученых и талантливых студентов. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. Москва, 15-18 декабря, 2008.
52. Болгов М. В., Осипова Н. В. Регионализация в задаче аппроксимации законов распределения максимальных расходов воды. / Тр. Международного семинара «Генетические и вероятностные методы в гидрологии: проблемы развития и взаимосвязи», Одесса, 2009.- с.156–158.
53. Кузин Л. С., Бабкин В. И. Географические закономерности гидрологического режима рек. / Л., Гидрометеиздат, 1979, 200 с.
54. Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России / Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География № 6, 2010, с. 8–16.
55. Фролова Н. Л., Агафонова С. А., Нестеренко Д. П., Повалишников Е. С. Естественная зарегулированность стока рек бассейна Волги в условиях меняющегося климата / Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление». 2013. № 6, с. 32–49.
56. Инженерная геология СССР. Т.1. / М: изд-во МГУ, 1978.
57. Гуревич Е. В. Влияние суровости зимы на неравномерность формирования зимнего стока в речном бассейне / Метеорология и гидрология № 7, 2012, с. 92–99.