



НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ СПРАВОЧНИК

ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК БАССЕЙНА КАМЫ

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 КАМЫ

Под редакцией
В. Ю. ГЕОРГИЕВСКОГО

Ливны, 2015

УДК 556.5.04
ББК 26.222
Н346

Н346 Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы [Электронный ресурс] / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. - Электрон. Текстовые и граф. дан. в формате PDF (2 файла: 25Мб). – 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 978-5-904246-65-5

В справочнике представлены результаты расчетов основных гидрологических характеристик по 241 посту бассейна рек Камы за период по 2010 г.: 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 Kama River

The Handbook provides the results of computations of main hydrological characteristics (long-time average annual and probability values of average annual discharges and runoff depths; maximum discharges and depths of snowmelt and rainfall floods; minimum daily and 30-day winter and summer discharges) for 241 hydrological posts of the Kama River Basin for the period to 2010.

The Handbook is intended for specialists in hydrological engineering computations, amelioration hydrology, hydraulic engineering and water resources protection.

ISBN 978-5-904246-65-5

© ФГБУ «ЛТИ», 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 14.11.2015. Объем издания 25Мб. 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 КАМЫ	17
1.1 Климат	17
1.2 Геология и ландшафты	22
1.3 Растительный покров	37
1.4 Подземные воды.....	42
2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ ИЗУЧЕННОСТЬ.....	50
2.1 Гидрографическая сеть	50
2.2 Гидрологическая изученность	59
2.3 Основные гидрографические характеристики водосборов до гидрометрических створов.....	63
3 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	65
3.1 Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений	65
3.2 Однородность и стационарность основных гидрологических характеристик.....	65
3.3 Определение расчетных гидрологических характеристик при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений	67
3.4 Погрешности определения расчетных параметров гидрологических характеристик.....	68
3.5 Технологическое обеспечение инженерных гидрологических расчетов на основе современной автоматизированной системы	69
3.6 Методика определения внутригодичного распределения стока рек	70
3.7 Методика картирования расчетных параметров основных гидрологических характеристик	73
3.8 Уточнение параметров распределения гидрологических характеристик методом объединения данных наблюдений по группе постов	75
4 ГОДОВОЙ СТОК.....	78
4.1 Характеристика годового стока	78
4.2 Исходные данные	78
4.3 Однородность и стационарность	79
4.4 Расчетные параметры распределения	79
4.5 Карты расчетных параметров	80
5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БАСЕЙНА КАМЫ.....	85
5.1 Основные факторы внутригодичного распределения стока	85
5.2 Характеристика внутригодичного распределения стока рек	87
6 СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ.....	98
6.1 Характеристика весеннего половодья.....	98
6.2 Исходные данные	99
6.3 Оценка однородности и стационарности гидрологических характеристик.....	100
6.4 Определение параметров распределения.....	102
6.5 Карты расчетных параметров	103
7 ДОЖДЕВЫЕ ПАВОДКИ	108
8 МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК	113
8.1 Условия формирования минимального стока	113
8.2 Минимальный летне-осенний сток.....	115

8.2.1 Исходные данные	115
8.2.2 Однородность и стационарность	116
8.2.3 Расчетные параметры распределения	118
8.3 Минимальный зимний сток.....	119
8.3.1 Исходные данные	119
8.3.2 Однородность и стационарность	120
8.3.3 Расчетные параметры распределения	120
8.4 Карты расчетных параметров	122
9. РАЙОНИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ БАСЕЙНА КАМЫ ПО СООТНОШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	132

ПРИЛОЖЕНИЯ

[Перейти к приложениям](#)

- Приложение А.1 Список постов, по которым использованы данные гидрологических наблюдений
- 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
- Приложение А.5 Распределение стока по месяцам и сезонам (в процентах от годового) в пунктах наблюдений
- 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 летне-осеннего периода
- 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 минимальных суточных расходов воды за зимний период

Contents

Preface	8
Standard references	11
Terms and indentifications	11
Symbols and abbreviations	16
1 PHYSIOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE KAMA BASIN	17
1.1. Climate.....	17
1.2. Geology and landforms.....	22
1.3. Vegetation.....	37
1.4. Groundwater.....	42
2 GENERAL CHARACTERISTICS OF HYDROLOGICAL NETWORK AND AVAILABILITY OF INFORMATION	50
2.1. Hydrographic network.....	50
2.2. Availability of hydrological information.....	59
2.3. Main hydrographic features of watersheds at sections upstream gauging sites.....	63
3 DESIGN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS DETERMINATION TECHNIQUE	65
3.1. Determination of design hydrological characteristics where hydrometric observations are available.....	65
3.2. Homogeneity and stationarity of main hydrological characteristic.....	65
3.3. Determination of design hydrological characteristics where observation series are non-homogeneous.....	67
3.4. Design hydrological characteristics determination error.....	68
3.5. Technological support of hydrological engineering computations based on modern automated system.....	69
3.6. Intra-annual runoff distribution determination technique.....	70
3.7. Design hydrological characteristics mapping techniques.....	71
3.8. Refinement of parameters of distribution of hydrological characteristics by grouping observations by hydrological posts.....	75
4 ANNUAL RUNOFF	78
4.1. Characteristics of the annual runoff.....	78
4.2. Initial data.....	78
4.3. Homogeneity and stationary.....	79
4.4. Estimated parameters of the distribution.....	79
4.5. Maps of rated data.....	81
5 INTRA-ANNUAL RUNOFF DISTRIBUTION OF THE KAMA BASIN RIVERS	85
5.1. Main factors of intra-annual runoff distribution.....	85
5.2. Characteristics of intra-annual runoff distribution.....	87
6 SNOW-MELT RUNOFF	98
6.1. Spring flood characteristics.....	98
6.2. Initial data.....	99
6.3. Estimation of the uniformity and stationary.....	100
6.4. Determination of the distribution parameters.....	102
6.5. Maps of rated parameters.....	103
7 RAINFALL FLOODS	108
8 MINIMUM RUNOFF	113
8.1. Minimum runoff forming conditions.....	113
8.2. Minimum summer-autumn runoff.....	115
8.2.1. Initial data.....	115
8.2.2. Uniformity and stationary.....	116

8.2.3. Estimated parameters of the distribution.....	118
8.3. Minimum winter runoff.....	119
8.3.1. Initial data.....	119
8.3.2. Uniformity and stationary.....	120
8.3.3. Estimated parameters of the distribution.....	120
8.4 Maps of rated parameters.....	122
9 ZONING OF THE KAMA SPRING FLOOD MAXIMUM RUNOFF BASED ON COEFFICIENTS OF VARIATION - COEFFICIENTS OF SKEWNESS RATIO USING COMBINED ANALYSIS TECHNIQUE.....	128
SUMMARY.....	130
REFERENCES.....	132

APPLICATIONS A

[Go to applications](#)

ANNEX A.1 List of posts

ANNEX A.2 Main hydrographic characteristics of watersheds at observing sites

ANNEX A.3 Parameters and design values of average annual runoff

ANNEX A.4 Seasonal runoff parameters from gauged rivers

ANNEX A.5 Monthly and seasonal runoff distribution (in percentage of annual) at observing sites

ANNEX A.6 Intra-annual runoff distribution by true year method (in depths and percentage of annual runoff)

ANNEX A.7 Design values and parameters of maximum spring flood discharge

ANNEX A.8 Design values and parameters of spring flood runoff depth

ANNEX A.9 Main characteristics of highest long-term rainfall flood maximum discharges

ANNEX A.10 Design values of maximum discharges and rainfall flood depths

ANNEX A.11 Design values and parameters of minimum summer and autumn 30-day discharges

ANNEX A.12 Design values and parameters of minimum summer and autumn daily discharges

ANNEX A.13 Design values and parameters of minimum winter 30-day discharges

ANNEX A.14 Design values and parameters of minimum winter daily discharges

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с «Водной стратегией Российской Федерации на период до 2020 года» [1] 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 этой задачи обусловлена тем, что последние обобщения гидрологических характеристик для территории СССР/России были выполнены более 40 лет назад при подготовке многотомной 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 г. 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 Камы 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 Камы», раздел 1.1 – к.г.н. Суркова Г. В. (ИГ РАН); раздел 1.2 – к.г.н. Панин А. В., к.г.н. Горбунова И. А., к.г.н. Георгиади А. Г., д.г.н. Коронкевич Н. И. (ИГ РАН); раздел 1.3 – д.г.н. Огуреева Г. Н., 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. (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 Шаронова 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 максимального стока весеннего половодья бассейна Камы по соотношению коэффициентов вариации и асимметрии с использованием методики совместного анализа» – 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., к.т.н. Сомовой С. М.,

зав. лабораторией Шевченко А. И., н.с. Готовченковой И. Л., к.т.н. Яковенко Л. И., программистом Бехтяновой И. В., программистом Кобзевым М. В., программистом Андреевым А. Г., н.с. Дегтяренко Т. И., зав. сектором Атапиной Н. М., нач. отдела Лавровым В. А.

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 по 241 посту Государственной гидрологической сети Росгидромета за весь период наблюдений по 2010 год 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.

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 и (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 вероятности, характер которого зависит от 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 колоколообразное 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 – включают следующие элементы гидрологического режима рек и озер: средний годовой сток рек и его внутригодовое распределение, максимальные расходы воды и слои стока весеннего половодья и дождевых паводков, гидрографы стока, минимальные расходы воды (срочные, наименьшие 30-суточные и за календарный месяц) летней и зимней межени, наивысшие уровни воды рек и озер.

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, с указанием размеров 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.

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, – совокупность стока воды, наносов, растворенных веществ, тепла в произвольном створе речной сети за некоторый интервал времени.

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 средней 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 «ВНИИГМИ-МЦД»	- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
ФГБУ «ГГИ»	- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт»
OSM	свободно распространяемая база данных
ФАО	- мировая классификация почв
НП	- нелимитирующий период
НС	- нелимитирующий сезон
ЛП	- лимитирующий период
ЛС	- лимитирующий сезон
г.	- город
д.	- деревня
клх.	- колхоз
пгт	- поселок городского типа
р.	- река
руч.	- ручей
с.	- село
ст.	- станция
х.	- хутор
Q	- расходы воды, м ³ /сут
φ	- коэффициент естественной зарегулированности стока
R	- коэффициент автокорреляции
M	- модуль стока, л/сек км ²
h	- слой стока, мм
Cv	- коэффициент вариации
Cs	- коэффициент асимметрии
F	- площадь водосбора, км ²

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА КАМЫ

Бассейн Камы расположен на востоке европейской части России. Он граничит с бассейнами Северной Двины, Печоры, Оби, Урала, Верхней и Нижней Волги. Длина Камы составляет 1805 км, площадь бассейна равна 507 тыс. км². В пределах бассейна Камы полностью или частично находится территория 11 субъектов Российской Федерации (рисунок 1.1).

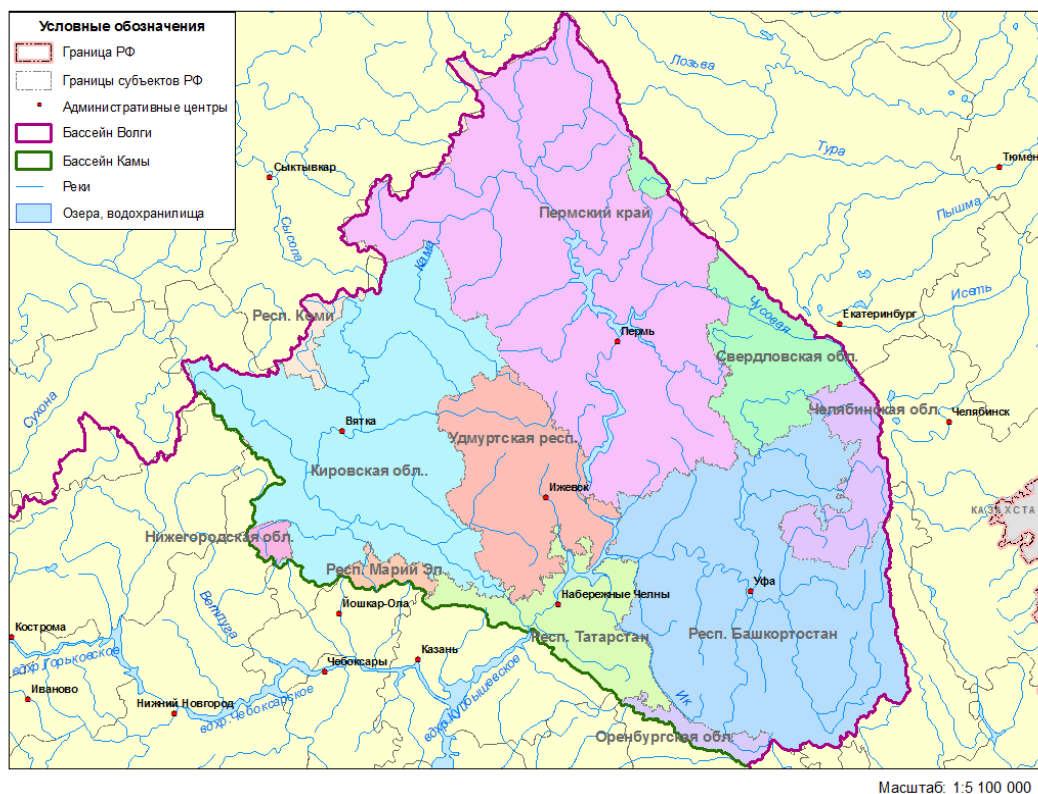


Рисунок 1.1 – Административно-территориальное деление бассейна Камы

1.1 Климат

Бассейн Камы располагается на востоке умеренно-теплой и умеренно-влажной атлантико-континентальной европейской области умеренного климатического пояса. С севера он граничит с умеренно теплой и избыточно влажной атлантико-арктической областью, с юга – с очень теплой и недостаточно влажной областью умеренного климата. Зима длинная, холодная, с устойчивым снежным покровом. Удаленность от Атлантического океана способствует увеличению континентальности климата с запада на восток, что проявляется в уменьшении количества осадков и увеличению годовой амплитуды температур по сравнению с районом Верхней Волги. Годовая амплитуда температур (разность между средней месячной температурой самого теплого и холодного месяцев) в этом районе составляет 30–35 °С, возрастая к востоку до 37-40⁰.

В течение года преобладает влияние умеренных морских и континентальных воздушных масс, дополнительные черты климату придает регулярная адвекция арктического и тропического воздуха.

Средние многолетние годовые суммы радиационного баланса подстилающей поверхности в бассейне Камы возрастают с севера на юг от 1100 МДж/м² год до 1500 МДж/м² год. При средних условиях облачности величина баланса составляет 30–40 % приходящей суммарной солнечной радиации. Отрицательные значения радиационного баланса (средние месячные величины) наблюдаются с ноября по февраль. Наименьшие значения отмечаются в декабре – январе: 25–40 МДж/м² мес. С марта по октябрь баланс положителен и достигает максимума в период наибольшей высоты солнца в июне (~350 МДж/м² мес.). Существенные различия радиационного баланса по территории связаны с зональными условиями и микроклиматическими особенностями подстилающей поверхности (рельефа, экспозиции склонов, типа растительности).

Средняя годовая температура воздуха в пределах бассейна Камы уменьшается с юго-запада на северо-восток вследствие широтного уменьшения радиационного баланса и ослабления морского влияния Атлантики. На большей части территории она выше нуля и составляет 0–3 °С. На отдельных участках возвышенностей средняя годовая температура отрицательна – с увеличением высоты местности происходит понижение температуры на 0,5–0,7 °С через каждые 100 м. Самый холодный месяц года – январь, самый теплый – июль. В холодный период года (ноябрь – март) распределение температуры воздуха существенно отличается от широтного вследствие удаления от Атлантического океана и увеличения континентальности климата с запада на восток. Средние температуры самого холодного месяца (января) составляют –14...–18°С. На январь приходятся средние и абсолютные минимумы температуры, достигающие в некоторые годы –50 °С и ниже. Зимние оттепели возможны в любой месяц года и сопровождаются повышением температуры воздуха до 3–6 °С. Оттепели могут иногда продолжаться до 10 суток и больше.

Переход средней суточной температуры воздуха через 0° С происходит на юго-западе территории в среднем в первой декаде апреля, на северо-востоке – на 7–10 дней позже. Отсутствие отрицательных минимумов температуры при положительной средней суточной температуре (продолжительность безморозного периода) характерно для 80÷130 дней. Период с положительными температурами почвы короче безморозного периода на 1–2 недели.

В теплый период года распределение температур воздуха в большей степени зонально, соответствует географической широте местности и распределению радиационного баланса. В это время циклоническая деятельность в бассейне Камы ослабевает, уступая место внутримассовым процессам. Средняя температура самого теплого месяца (июль) составляет 21–26°С, убывая с юга на север. Слабое влияние Атлантики сказывается на усилении континентальности климата,

способствует высокой летней температуре – средние максимальные температуры воздуха составляют в июле 22–25 °С, абсолютные максимумы превышают 35–40 °С.

По степени увлажнения бассейн Камы относится к зоне достаточного увлажнения – количество осадков превышает испарение. В верховьях Камы годовая сумма осадков составляет 700–800 мм/год. Меньше всего выпадает осадков в феврале – апреле (рисунок 1.2–1.3). Всего с ноября по март на севере бассейна в среднем выпадает от 150 до 200 мм, в нижнем течении – 100–150 мм, местами менее 100 мм.

В теплый период года количество дней с осадками сокращается. Одновременно увеличивается роль ливней. Сумма осадков теплого периода (апрель – октябрь) больше примерно в два раза по сравнению с холодным периодом (ноябрь – март). Всего за теплый период выпадает 280–560 мм осадков, уменьшаясь с севера на юг. Практически повсеместно наибольшее количество осадков (40–80 мм и более) приходится на июль.

Межгодовая изменчивость средних годовых сумм осадков составляет 15–20 %. Для средних месячных величин этот показатель гораздо больше (40–50 % и более). Коэффициент асимметрии годового количества осадков положителен и близок к нулю для большинства станций. Несмотря на достаточное, а местами избыточное увлажнение территории, в отдельные годы возможны засухи. Средняя продолжительность периода без дождей составляет 3–4 дня, при засухах она может достигать 24–35 дней.

Появление снежного покрова в бассейне Камы наблюдается в основном в середине и конце октября. Устойчивый снежный покров образуется в среднем на три недели позже, в конце октября – первой половине ноября, а разрушается в основном в середине апреля, на северо-востоке – в конце апреля. Окончательный сход снежного покрова в среднем происходит на 4–10 дней позже по сравнению со средними датами. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 150–200 дней; она уменьшается с северо-востока на юго-запад. Плотность снежного покрова по территории меняется незначительно и составляет 230–260 кг/м³.

В течение холодного периода высота снежного покрова постепенно возрастает при наличии вероятности его стаивания, проседания и уплотнения во время оттепелей. Средняя высота снежного покрова на открытых участках изменяется от 70 мм и более на северо-востоке до 40 мм и менее на юго-западе региона. На закрытых участках она изменяется, соответственно, от 80 мм и более до 50 мм и менее. Пространственная изменчивость высоты снежного покрова и запаса воды в снеге довольно велика, зависит от орографических факторов и наличия растительности, режима ветра, других физико-географических особенностей местности. Увеличение запасов воды в снежном покрове (рисунок 1.4) совпадает с тенденциями возрастания его высоты в 1976–2010 гг. [10].

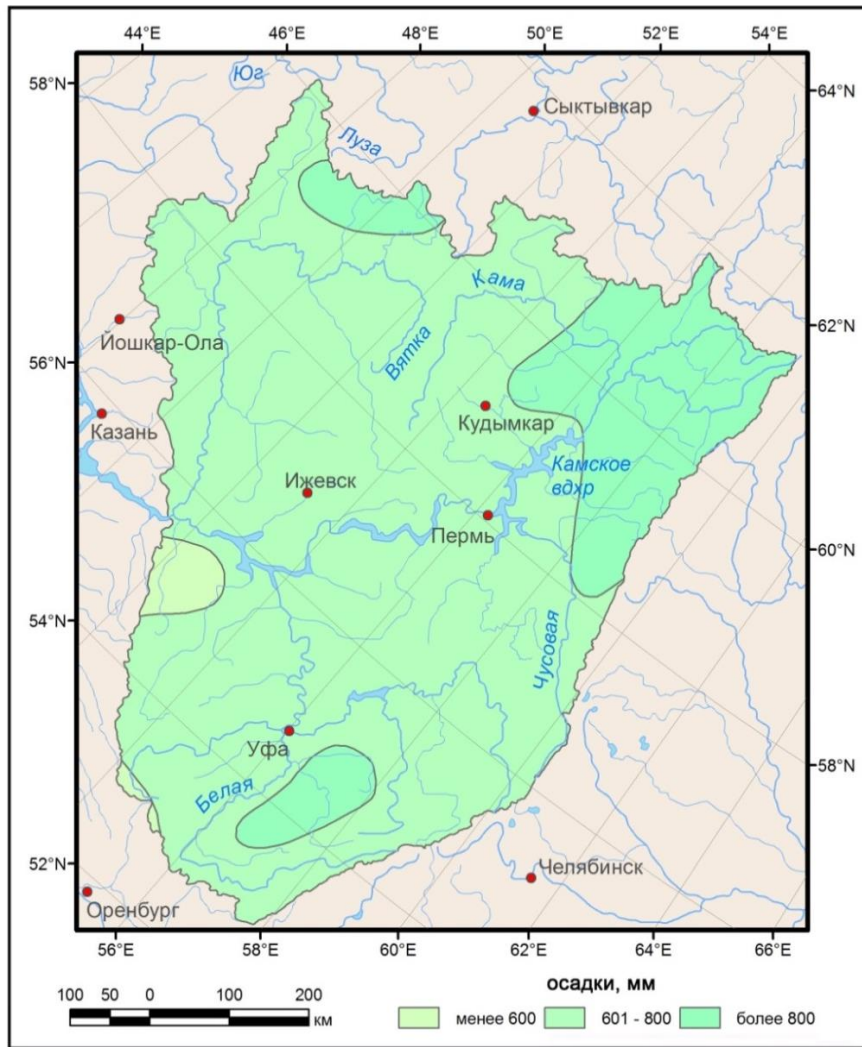


Рисунок 1.2 – Среднее годовое количество осадков

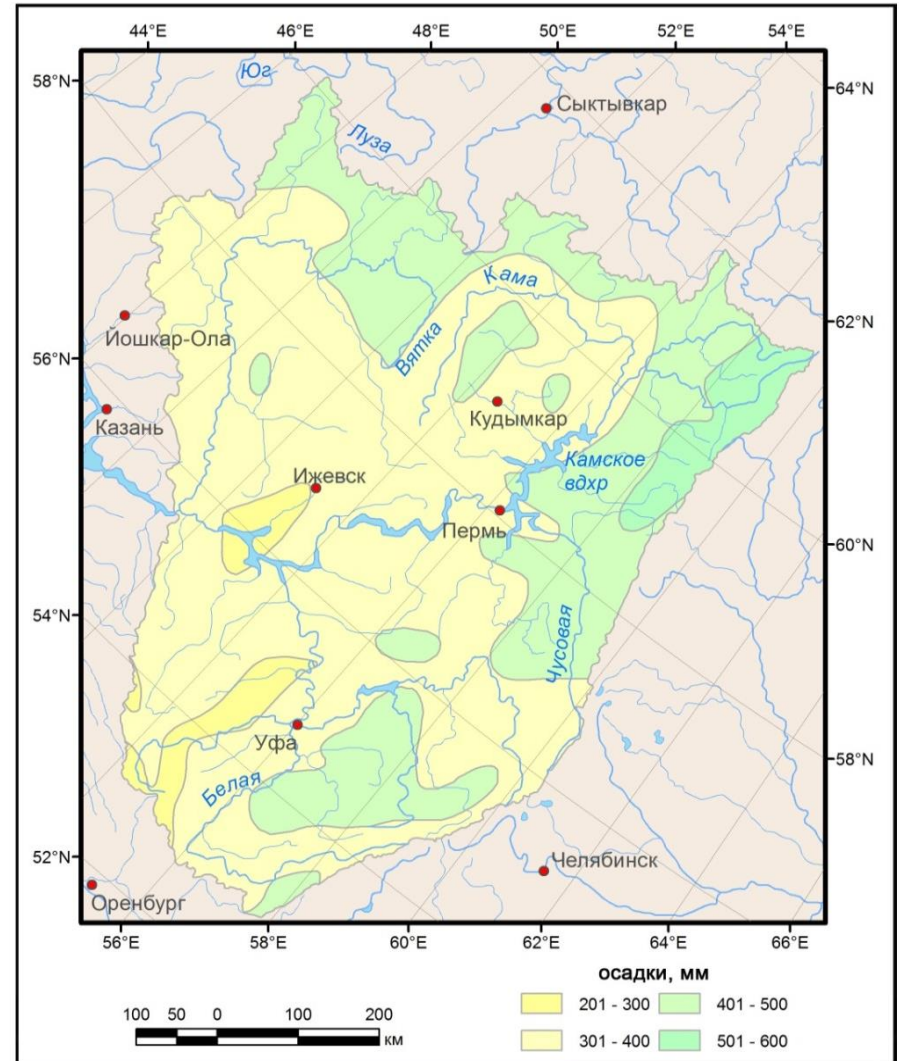


Рисунок 1.3 – Количество осадков за теплый период (апрель – октябрь)

Нормативная глубина промерзания грунта в бассейне Камы для суглинков в среднем составляет 1,6–1,7 м, для супеси и различного песка 1,9–2,2 м, для крупнообломочного грунта 2,3–2,5 м. Эти предельно большие значения соответствуют возможным экстремальным условиям: высокому расположению зеркала грунтовых вод, сильным морозам, отсутствию снежного покрова. Фактическая глубина промерзания значительно меньше расчетных величин и обычно не превышает 1–1,5 м. От года к году в зависимости от погодных условий она может меняться от 0,1 м и менее до 1,5 м и более. С севера на юг высота снежного покрова уменьшается, а температура холодного периода остается достаточно низкой, поэтому глубина промерзания почвы в бассейне Камы возрастает в южном направлении. Почва полностью оттаивает в первой декаде мая, на юге бассейна Камы – в последней декаде апреля.

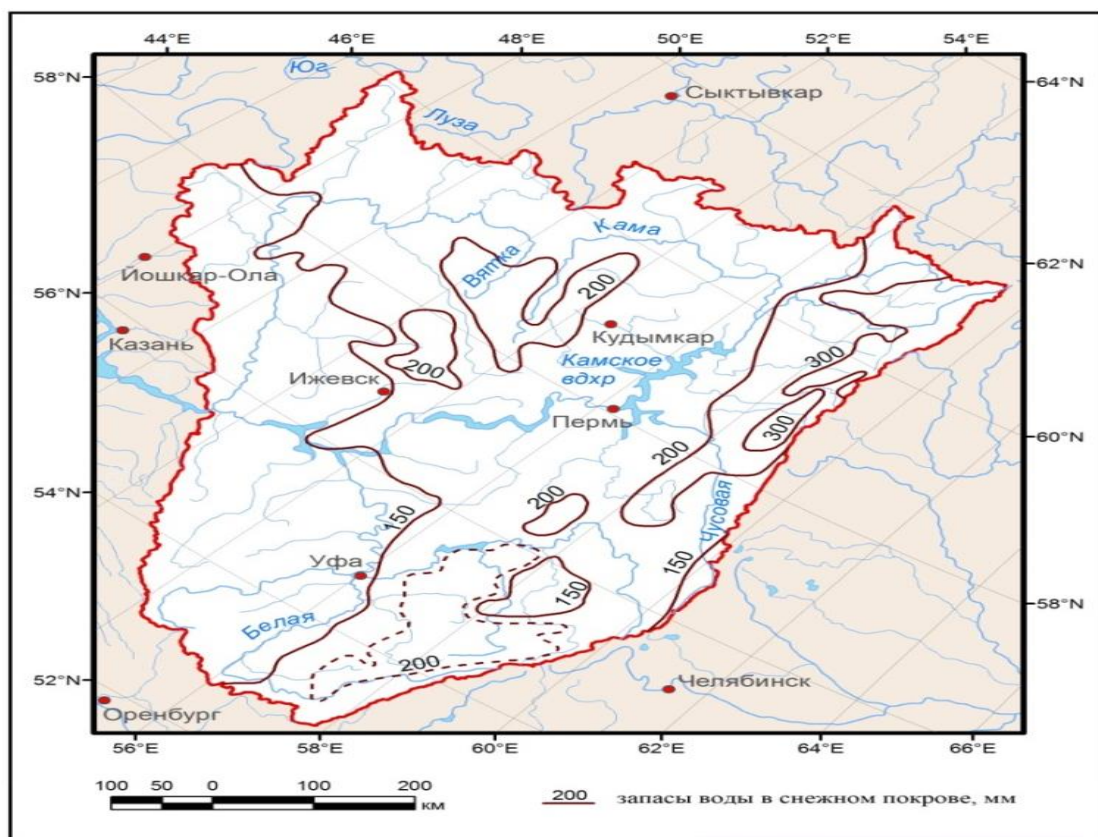


Рисунок 1.4 – Распределение средней величины (из наибольших) запасов воды в снежном покрове, мм

Относительная влажность воздуха в регионе составляет в среднем за год около 75 %. В холодный период она возрастает до 80–90 %. В теплое время года наиболее низкие значения относительной влажности (60–65 %) наблюдаются в мае – июне.

Испаряемость в бассейне Камы возрастает с северо-востока на юго-запад от 450 до 600 мм. Средняя годовая разность осадков и испаряемости, характеризующая увлажненность территории, меняется от 200 мм на севере бассейна Камы до –100 мм на юге [11], что связано с уменьшением количества осадков и ростом температуры. Потери на испарение с водной поверхности

водохранилищ в среднем составляют 1,9 % прихода, причем по некоторым крупным водохранилищам пределы колебаний могут составлять от 1,2 до 9 %.

Ветры юго-западной четверти заметно преобладают в среднем годовом режиме. Вследствие выраженной разницы зимней и летней циркуляции соотношение преобладающих направлений изменяется от сезона к сезону года. Прохождение циклонов над регионом (независимо от времени года) сопровождается последовательной сменой направления ветра с поворотом по часовой стрелке.

Для холодного сезона характерно увеличение повторяемости ветров южных и западных румбов. В теплое время года увеличивается роль ветров северо-восточных румбов, а повторяемость ветров юго-западного сектора уменьшается.

1.2 Геология и ландшафты

Бассейн Камы располагается в пределах Восточно-Европейской равнины (район В) и Уральской горной страны (район Д) (рисунок 1.5). Большая часть бассейна Камы относится к Высокому Заволжью [12, 13].

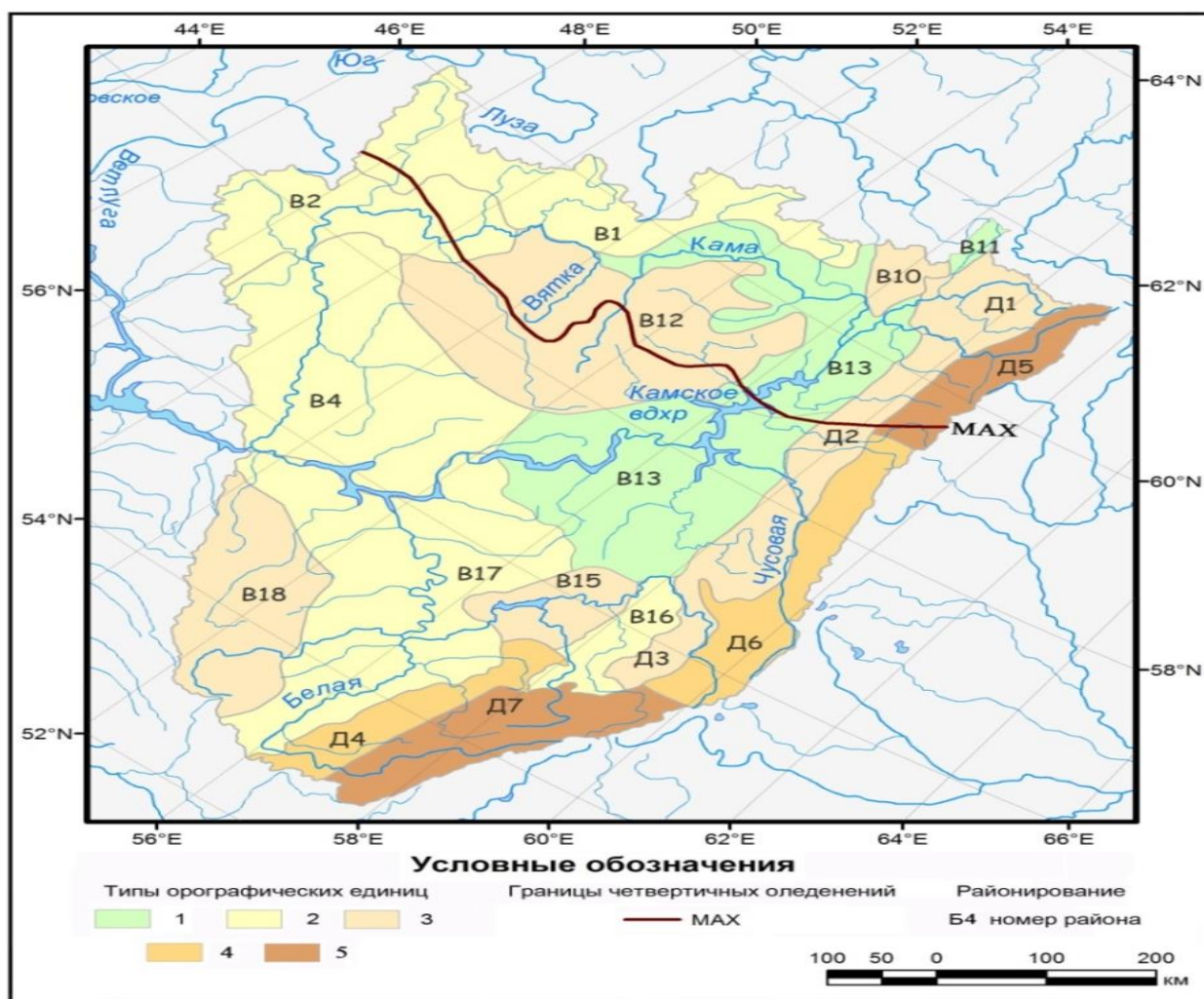


Рисунок 1.5 – Орографические районы Камского бассейна

Это увалистые денудационные равнины на востоке и северо-востоке от р. Камы с высотами до 380–400 м, имеющие ступенчатое (ярусное) строение. В рельефе этих равнин выделяют три разновозрастные поверхности денудационного выравнивания [14]. Уровень миоценового педиплена (более 5 млн лет назад) образует ступень с высотами более 250 м. Более низкая ступень педиплена эоплейстоценового времени (1–2 млн лет назад) находится на отметках 180–220 м. Уровень равнин плейстоценового возраста соответствует отметкам 140–160 м, который прослеживается вдоль долин крупных и средних рек. На фоне этих основных ярусов выделяются более мелкие ступени рельефа, обусловленные наличием структурно-денудационных форм, бронированных пластами прочных пород.

Переход от Высокого Заволжья на восточной окраине древней Русской платформы к палеозойской складчатой области Уральского хребта происходит через Предуральский краевой прогиб. В пределах прогиба образовались сильно расчлененные структурно-денудационные предгорные возвышенности. Урал, с западного склона которого стекают левые притоки Камы, – сводово-глыбовые, преимущественно горст-антиклинальные горы с типичными высотами вершинных поверхностей порядка 1000 м, отличающиеся значительной глубиной и густотой эрозионного расчленения.

Северные Увалы (В1) – денудационная возвышенность, образованная еще в доледниковое время и в среднем плейстоцене трансформированная ледниковыми и водно-ледниковыми осадками – разделяет верховья Камы и Вятки, а также левых притоков Вычегды. Это пологоволнистые, местами плоские, с многочисленными болотами междуречья, разделенные широкими, плоскими, заболоченными долинами рек. Абсолютные высоты междуречий 220–270 м.

Южный Тиман (В10) и юго-восточное окончание Тиманского кряжа отделено от Северных увалов Кельтминской ложбиной – древней раннечетвертичной долиной (возможно, камской), освоенной в конце четвертичного периода небольшими притоками Камы и Вычегды (Южная Кельтма, Северная Кельтма). По морфологическим признакам это сочетание высланных четвертичными отложениями пологоволнистых, местами заболоченных равнин, с высотами междуречий 200–220 м, редко до 250 м. В их пределах сильно возрастают густота и глубина расчленения местности.

Южнопечорская низменность (В11) находится на северо-востоке региона. В ее состав входит заболоченная Березовская ложбина, в южной части которой находится карстово-эрозионное оз. Чусовское. Это долина раннеплейстоценового времени, аналогичная Кельтминской ложбине. Перепады высот в днище ложбины не превышают первых десятков метров. На бортах ложбины расчлененность местности несколько возрастает.

Вятско-Ветлужская равнина (В2) – плосковолнистая равнина, возникшая на периферии максимального (днепровского или донского) оледенения, сложенная с поверхности моренами и песчано-глинистыми водно-ледниковыми отложениями. Для долин характерно наличие террас, связанных с деятельностью рек и флювиогляциальных потоков. Рельеф междуречий переработан эрозионными процессами.

Вятское Прикамье (В4) делится между разными частями Волжского бассейна. Большая часть области (более 80 %) относится к бассейну Камы. Это эрозионно-денудационные, сильно расчлененные равнины внеледниковой области, имеющие форму амфитеатра, выпуклого к северо-востоку. Обрамление амфитеатра составляют возвышенности – Вятский Увал (на западе), Верхнекамская (на севере), Сарапульская (на востоке), Можгинская и Елабужская (на юге). Наиболее приподнятые участки возвышенностей с отметками 250–300 м имеют вид плоских плато, наиболее крупное из которых – Вятский Увал. Плато разделено притоками Вятки на отдельные куполовидные массивы. Оно сложено доломитами, известняками и гипсами, что предопределяет широкое развитие карстовых явлений – карстовых воронок, «слепых» долин.

Верхнекамская возвышенность (В12) – остаточная-денудационная инверсионная возвышенность в пределах палеозойской Вятско-Камской тектонической впадины. Она образовалась как денудационный останец в конце неогена – начале плейстоцена. В целом возвышенность имеет большую расчлененность и меньшую заболоченность по сравнению с соседними Северными Увалами. Средние отметки рельефа 250–280 м (максимальные отметки–300–335 м). На восточных склонах возвышенности находятся истоки Камы и ее основных правых притоков (Обва, Иньва, Коса). С ее южных и западных склонов стекают Вятка и ее главные левые притоки – Чепца, Кильмезь. Территория сложена алевролитами, глинами, мергелями, пермской системы, местами перекрытыми четвертичными песками. Длительное денудационное развитие оказало большое влияние на морфологические особенности рельефа [14]. Специфической чертой Вятско-Камского междуречья является плейстоценовый песчаный покров эоловых отложений. В контурах его развития существенно сглажены неровности рельефа, снижена плотность эрозионной сети, местами развит реликтовый дюнный рельеф.

Низменности верхней и средней Камы (В13) образуют дугу, обращенную выпуклостью к северо-востоку, включающую Веслянскую низменность с высотами 150–170 м. Она переходит в Камско-Кельтминскую низменность. Далее к юго-востоку следует Соликамская (или Язьвинско-Вишерская) низменность, а к югу – Среднекамско-Косьвинская низменность с высотами 110–130 м. К этому же району относится и Косинская низменность (120–150 м). В среднем плейстоцене низменности перекрывались покровным ледником, но вследствие последующего эрозионного расчленения морены, водно-ледниковые пески и глины сохранились фрагментарно. На севере области выделяется широкая (15–20 км), пологая и заболоченная Кельтминская

ложбина, пересекающая водораздел Камы и Вычегды. Это древняя доледниковая долина (вероятно, камская), возникшая в результате перестройки гидрографической сети в период среднеплейстоценового оледенения.

Среднее Прикамье (В14) объединяет несколько небольших возвышенностей, соответствующих неотектоническим валам (Оханская, Верещагинско-Васильевская (правобережье Камы ниже Перми), Тулвинская возвышенности, Сылвинский кряж (левобережье Камы)). Высоты достигают 400–450 м. Оханская возвышенность с высотами до 327 м является продолжением Верхнекамской возвышенности. Наибольшее эрозионное расчленение наблюдается на юге территории. Тулвинская возвышенность в междуречье Камы, Сылвы, Ирени и Вишеры достигает наибольшей высоты – 446 м. Сылвинский кряж длиной около 90 км и высотой до 414 м переходит к югу в Уфимское плато. Кряж сложен известняками, доломитами, гипсами пермского возраста, благоприятствующими развитию карста.

Уфимское плато (В15) – субмеридионально вытянутая, расширяющаяся и повышающаяся к югу возвышенность, с асимметричным поперечным профилем. Сложено карбонатными породами нижней перми, рыхлыми песчано-галечными и глинистыми отложениями мезокайнозоя. Междуречные пространства – ровные и местами заболоченные поверхности с общим повышением местности с 300–350 м (запад-северо-запад) до 450–500 м (восток-юго-восток). Поверхность Уфимского плато занята глубокими сухими логами. Они сильно расчленены эрозионными формами с глубиной вреза 150–200 м (до 250–270 м в каньонообразных долинах крупных рек Уфа, Ай, Юрюзань). Долины крупных рек переуглублены: в нижнем течении р. Уфа глубина вреза составляет 100 м. Развитие карста обуславливает повышенные потери стока на просачивание. Проявления карста наиболее часто прослеживаются в днищах долин и логов. На Уфимском плато редки постоянные ручьи, встречаются «слепые долины» (реки Саула, Аскан и др.). Река Яман-Елга уходит под землю в истоках и выходит источником Красный ключ на поверхность лишь через 60 км.

Приайская равнина (В16) – холмисто-увалистая территория, соответствующая Юрюзано-Айской впадине в пределах Предуральяского краевого прогиба. Наиболее пониженная и ровная часть депрессии тянется (более 130 км) вдоль подножия Уфимского плато, обрывающегося крутым субмеридиональным уступом высотой 150–200 м. От уступа отходят отроги куполовидных массивов с плоской вершиной, сложенных рифовыми известняками нижней перми. Местами они отделены от уступа формами линейной эрозии и представляют изолированные останцовые горы. На западе равнины в породах кунгурского яруса распространен гипсовый карст (подземный и поверхностный). В центральном секторе равнины находятся структурно-денудационные гряды высотой до 150 м. На правобережье р. Ай поверхность равнины повышается к востоку, она сильно расчленена на крупные увалы относительной высотой 100–150 м.

Максимальная высота (до 500 м) и глубина расчленения (до 200 м) характерна для северо-востока равнины (Белокатайское плато). Высоты и глубина расчленения увеличиваются также к югу, в направлении к низкогорьям Южного Урала.

Прибельская равнина (В16) – холмисто-увалистая территория вдоль долины р. Белая с абсолютными отметками междуречий 230–300 м. Глубина вреза речных долин 80–150 м. Долина Белой переуглублена до 100 м, в местах карстовых депрессий – до 180–200 м, в нижнем течении достигает ширины 10–12 км. Погребенные врезы заполнены аллювиальными и морскими песчано-глинистыми отложениями позднего плиоцена. В четвертичное время здесь происходило накопление аллювиальных и озерных отложений. В осевой части территории находится заболоченная аккумулятивная равнина.

Многочисленные реки (Стерля, Ашкадар, Куганак, Уршак, Дема, Кармасан, Чермасан, База, Сюнь и др.) имеют долины северо-северо-восточного простирания. Разделяющие их междуречья отличает уплощенный полого-увалистый рельеф с абсолютными отметками 110–200 м. Левобережье сложено породами кунгурского и уфимского ярусов с присутствием гипсов и известняков, обуславливающих развитие карста. Правобережная часть Прибельской равнины характеризуется пересеченным рельефом со средними высотами 150–280 м. Отдельные гряды, останцы достигают отметок 350–400 м и больше.

На правобережье р. Белая в нижнем ее течении расположена одна из наиболее расчлененных территорий – Бирская возвышенность. Эта область имеет пологовыпуклый рельеф, удлиненную форму междуречий с высотами 250–300 м, относительно небольшой глубиной врезания рек. Реки имеют более широкие днища долин и задернованные склоны. В верховьях рек глубина вреза их долин не превышает 40–50 м. Ниже по течению рек глубина вреза долин возрастает. Возвышенность сложена верхнепермскими песчано-глинистыми и мергелистыми отложениями, гипсоносными породами кунгурского яруса, что провоцирует карст. В четвертичное время Бирская возвышенность испытывала тектоническое поднятие, что обусловило интенсификацию эрозионных процессов.

Бугульминско-Белебеевская возвышенность (В17) – эрозионно-денудационная пластово-моноклиальная возвышенность, образующая водораздел Белой, Камы и Волги. По долине р. Ик она делится на Бугульминскую возвышенность, расположенную на стыке Республики Татарстан, Самарской и Оренбургской областей, и Белебеевскую возвышенность, находящуюся в основном в Республике Башкортостан. Ее восточная граница с Прибельской равниной на большом протяжении имеет вид уступа высотой до 150 м. На юго-востоке она плавно переходит в Общий Сырт. Возвышенность сложена породами казанского, уфимского и кунгурского ярусов пермской системы, включает пласты карстующихся пород (известняков, мергелей, гипсов). Карст имеет поверхностную и подземную формы проявления. Провально-карстовое происхождение

характерно для самых крупных озер Южного Предуралья – Аслыкуль и Кандрыкуль, расположенных в северо-восточных отрогах Белебеевской возвышенности. Поверхности междуречий пологоволнистые, платообразные. Они разделены глубоко врезаемыми (до 150–200 м) речными долинами с крутыми, местами ступенчатыми, склонами. Абсолютные высоты водоразделов достигают 400–450 м, местами 480 м. Поверхности выравнивания бронируются пластами прочных пород миоценового (350–450 м) и плиоценового (250–300 м) возраста.

Уральская горная страна в пределах бассейна Камы делится на две провинции – Западноуральскую, соответствующую Предуральскому краевому прогибу, и провинцию осевой зоны Урала. В Западноуральской провинции выделяется четыре орографических области: область парм, Вишерско-Чусовское Предуралье, Сылвинско-Уфимское Предуралье, Сим-Нугушская область. Осевая зона Урала делится на три области: среднегорье Северного Урала, низкогорье Среднего Урала, среднегорье Южного Урала.

Область парм (Д1) соответствует расположению низких водораздельных хребтов и широких выровненных водоразделов в полосе развития дислоцированных осадочных свит палеозоя. Вершинные поверхности с преобладающими высотами 400–500 м представляют собой остаточные массивы верхнемезозойско-палеоген-миоценовой денудационной поверхности выравнивания. Речные долины вложены в широкие ложбинообразные понижения рельефа. Южная граница области парм – Полудов Кряж с высотой около 800 м.

Вишерско-Чусовское Предуралье (Д2) – полоса увалистых меридионально вытянутых возвышенностей с возрастанием высот с запада на восток от 300 до 500–600 м. Отдельные денудационные останцы поднимаются выше 700 м: Колчимский камень (780 м), Молчанский камень (713 м). Западная половина территории сложена терригенно-хемогенными породами кунгурского яруса нижней перми – аргиллитами, алевролитами, песчаниками с прослоями известняков, мергелей, гипсов, ангидритов, каменной соли. Ближе к Уралу вскрываются породы ассельского и сакмарского яруса нижней перми, представленные преимущественно известняками. В приуральской полосе вскрываются породы карбона (преимущественно известняки и доломиты).

Сылвинско-Уфимское Предуралье (Д3) представляет собой холмисто-увалистую возвышенную равнину с мягкими очертаниями и высотами, редко превышающими 400 м. Она является продолжением тянущейся с севера полосы остаточно-денудационных невысоких хребтов. Более резкие формы рельефа характерны для районов выхода каменноугольных известняков. Долины рек здесь имеют каньонообразную форму. Бассейны рек Уфа и Ай сложены смятыми в складки терригенно-карбонатными породами нижней перми и верхнего карбона. Рельеф представляет сочетание холмов, субмеридионально ориентированных увалов, долин и междолинных гряд. Понижения часто соответствуют синклинальным складкам и сложены карбонатно-мергелистыми породами, повышения – осевым частям или крыльям антиклиналей и

состоят из трудноразмываемых конгломератов. В первых развит карст, что проявляется в формировании подземных полостей, открытых трещин, карстовых воронок, «слепых» логов. Речная сеть имеет древовидный рисунок, речные долины хорошо разработанные, широкие, глубина их вреза увеличивается к западу (вниз по течению).

Сим-Нугушская низкогорная область (Д4) – это зона передовых хребтов западного склона Урала образована короткими (5–40 км) хребтами-горстами с высотами не более 800–1000 м: Гребень, Алатау, Кырыбужан, Анаты, Зильмердак, Баштин, Ардакты, Кавералы, Ашалатау, расположенными параллельно или кулисообразно. Они сложены девонскими кварцевыми песчаниками и разделены узкими и глубокими депрессиями, в которых доминируют известняки и песчано-глинистые породы девона или карбона. Для речной сети характерен ортогональный рисунок – результат приспособления водных потоков к направлениям тектонической трещиноватости. Глубина расчленения местности 250–350 м.

Среднегорье Северного Урала (Д5) состоит из нескольких параллельных горных хребтов шириной порядка 50 км с высотами 800–1400 м. В пределах камского бассейна максимальные высоты наблюдаются в верховьях р. Большая Косьва (до 1570 м). Глубина расчленения рельефа достигает 600–800 м. В формировании горного рельефа велика роль избирательной денудации. Хорошо выражены меридиональные эрозионно-тектонические депрессии, разделяющие отдельные хребты. В депрессиях формируются короткие участки речных долин, придающие рисунку речной сети перистый характер. В южной части бассейна Вишеры, в верховьях р. Яйва находится изолированный хребет Кваркуш длиной 60 км и шириной 12–15 км. Максимальная высота хребта превышает 1000 м.

Низкогорье Среднего Урала (Д6) – грядово-увалистое низкогорье со сглаженными гребнями хребтов и высотами 600–800 м. Это самая низкая часть Урала. Хребты и наиболее высокие массивы сложены более устойчивыми породами, что обуславливает селективность денудации. Поскольку продольные межхребтовые депрессии выражены относительно слабо, плановый рисунок речной сети ближе к древовидному типу, чем к перистому.

Среднегорье Южного Урала (Д7) – часть горной страны, отделенная от Среднего Урала верховьями р. Уфа и средним течением р. Урал и хребтом Мугоджары. В пределах Камского бассейна находится его северная часть, для которой характерно субмеридиональное простирание относительно коротких (30–80 км) хребтов. Хребты сложены протерозойскими кварцитами и кварцито-песчаниками. Они пересекаются речными долинами, разделены четкими эрозионно-тектоническими депрессиями, в которых водные потоки могут перемещаться в разных направлениях.

Почвенный покров. Водосбор Камы расположен в трех почвенных зонах равнинных территорий: подзолистых почв средней тайги (Онего-Вычегодская провинция), дерново-

подзолистых почв южной тайги (Вятско-Камская провинция (со Среднерусской на крайнем западе)) (более 50 % территории района), серых лесных почв (14 %) и черноземов лесостепи (19 %) (Нижекамская провинция) (рисунок 1.6) [15]. Кроме того, выделяется горная Уральская почвенная провинция с горными подзолистыми и горными бурыми, луговыми и тундровыми почвами [16]. По почвенно-экологическому районированию территория относится к среднетаежной Предуральской, южно-таежной Заволжско-Предуральской и горной Северо-Среднеуральской провинции [17].

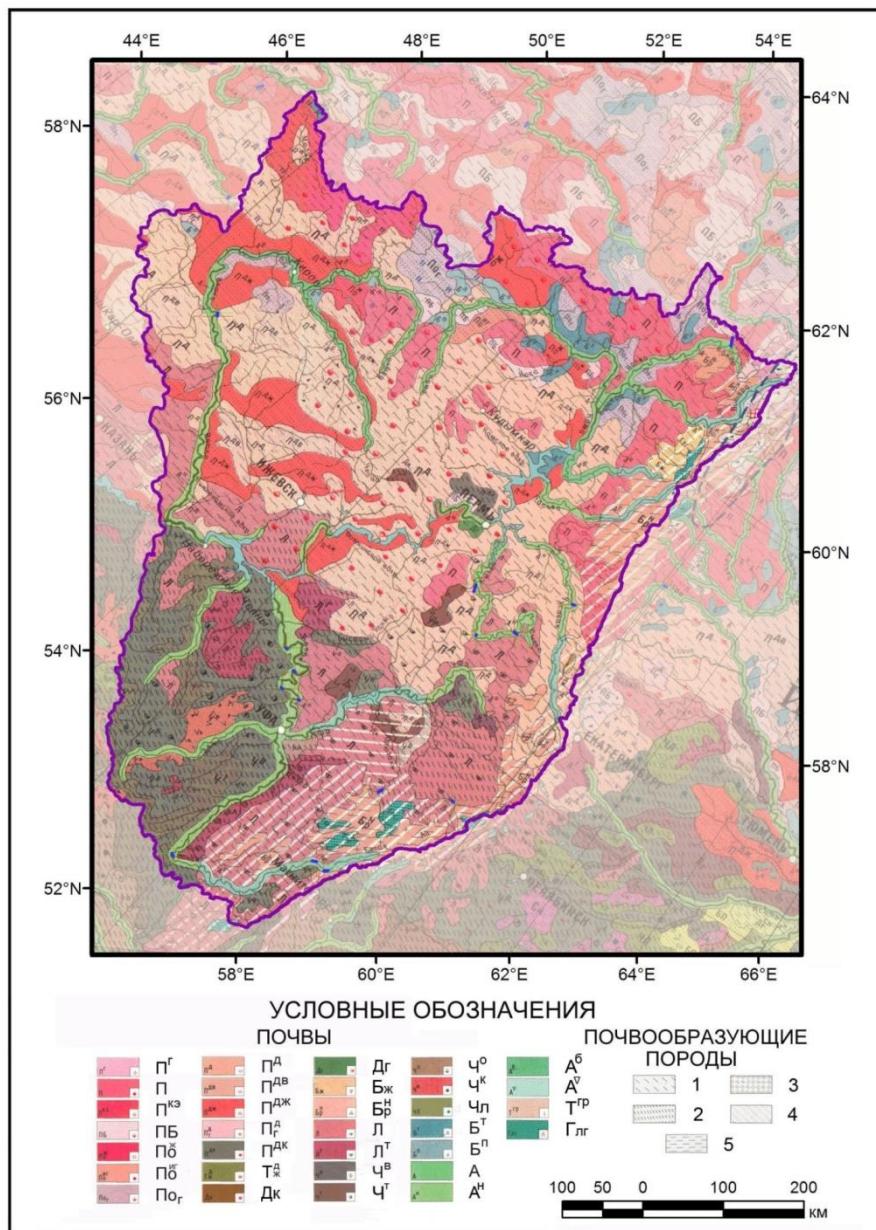
По механическому составу наиболее распространены [18] глинистые и тяжелосуглинистые почвы (36 % общей площади района), среднесуглинистые (18 %), песчаные (9 %) и песчаные и супесчаные (6 %), а также кислые метаморфические и изверженные (8 %) (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Распространенность почв с различным механическим составом

Механический состав	Доля площади, %
Глинистые и тяжелосуглинистые	36,2
Среднесуглинистые	18,0
Среднесуглинистые валунные и галечниковые	1,22
Среднесуглинистые щебнистые	1,29
Легкосуглинистые	1,68
Супесчаные	1,42
Песчаные	8,46
Песчаные и супесчаные	6,19
Кислые метаморфические и изверженные	7,56
Сланцы	2,57
Песчаники	1,16

Почвы района сильно уплотнены: объемная плотность изменяется от 1,24 до 1,7 г/см³ [19]. Для дерново-подзолистых почв характерное значение плотности почвы равно 1,49 г/см³ (42 % площади бассейна), для серых лесных почв 1,37 г/см³ (19 %), а для черноземов 1,25 г/см³ (6 %).

Подзолистые почвы распространены узкой и прерывистой полосой на севере региона, иногда проникая в его центральные части. Особенно далеко к востоку они проникают в предгорья Урала. Почвы формируются под среднетаежной хвойной растительностью в основном на моренных и покровных суглинках, реже на двучленных породах, имеют четкую морфологическую дифференциацию профиля и контрастные химические свойства [20]. У тяжелых подзолистых почв мощность дернового горизонта 2–4 см. Гумусовый горизонт выражен не всегда. Ниже располагается элювиальный горизонт легкого гранулометрического состава и оглиненный структурный горизонт. Повышенная влагоемкость суглинистых и глинистых почвообразующих пород и относительно слабая водопроницаемость определяют медленную фильтрацию почвенных растворов, значительная часть влаги расходуется на формирование поверхностного стока. Водопроницаемыми каналами в плотных иллювиальных горизонтах служат крупные вертикальные трещины, поры, корнеходы.



Легенда к карте на рисунке 1.6

Код	Типы почв равнинных территорий
ПГ	Глее-подзолистые
П	Подзолистые
П ^{кз}	Подзолистые контактно-элювиальные
ПБ	Подзолисто- и торфяно-подзолисто-глеевые
По ^ж	Подзолы иллювиально-железистые
По ^т	Подзолы иллювиально-гумусовые
По _г	Подзолы торфянисто-глеевые
П ^а	Дерново-подзолистые
П ^{ав}	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом
П ^{аж}	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые
П ^а _г	Дерново-подзолистые глеевые
П ^{ак}	Дерново-подзолистые остаточно-карбонатные
Тж ^л	Дерново-таежные
Дк	Дерново-карбонатные
Дг	Дерново-глеевые
Бж	Буро-таежные
БР ^н	Буроземы ненасыщенные
Л	Серые лесные
Л ^т	Темно-серые лесные
Ч ^в	Черноземы выщелоченные и оподзоленные
Ч ^г	Черноземы типичные
Ч ^о	Черноземы обыкновенные
Ч ^к	Черноземы остаточно-карбонатные
Чл	Лугово-черноземные
Б ^т	Болотные торфяные и торфяно-глеевые
Б ^п	Болотные перегнойно-торфянисто-глеевые
А	Аллювиальные дерновые и луговые кислые и слабокислые
А ^н	Аллювиальные луговые и дерновые насыщенные
А ^б	Аллювиальные болотные и лугово-болотные
А ^в	Аллювиальные горных рек
	Почвы гор*
Т ^{гр}	Тундровые грубогумусовые
Глг	Горно-луговые
	Почвообразующие породы
	Суглинистые и глинистые
	Суглинистые и глинистые карбонатные
	Суглинистые и глинистые засоленные
	Песчаные и супесчаные
	Плотные осадочные (песчаники, сланцы)

*Горные почвы – аналоги равнинных почв, даны на карте белым косым шрифтом

Рисунок 1.6– Почвенная карта Камского бассейна

Подзолистые контактно-элювиальные почвы формируются на двучленных почвообразующих породах. Они мало распространены на исследуемой территории и образуют небольшой ареал на ее крайнем северо-западе. Особенностью этих почв является наличие относительно мелких частиц (песок, супесь) в поверхностном слое почвенного покрова. Ниже по профилю залегают моренные суглинки и глины. Двучленные породы распространены в среднетаежной и южно-таежной зоне [21]. В зависимости от глубины расположения водоупоров почвы могут быть заболочены поверхностными и грунтовыми водами.

Подзолисто и торфяно-подзолисто-глеевые почвы (тип болотно-подзолистых почв) – полугидроморфные почвы, приуроченные к нижним частям склонов холмов и увалов, иногда плоских или вогнутых участков равнин, заболоченных участков высоких террас, к окраинам болот. В этих почвах равноценны процессы оглеения и текстурной дифференциации [22].

Альфегумусовые подзолы формируются на древнеозерных, древнеаллювиальных и водно-ледниковых песках и супесях под пологом сосновых лесов. В ряде районов подзолы на повышенных элементах рельефа сформировались на песках с близким залеганием суглинков и глин под пологом пихтово-еловых лесов. Подзолы песчаные характеризуются хорошей водопроницаемостью. Почвы разделяются на два подтипа – иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые. Подзолы иллювиально-железистые формируются на «сухих» песчаных холмах, иллювиально-гумусовые – на пологоволнистых равнинах при подстилании песков моренными суглинками, часто формируются по периферии болот.

Дерново-подзолистые почвы занимают всю центральную зону региона и являются наиболее распространенными почвами. В северной ее части довольно часто встречаются разрозненные ареалы подзолистых почв (к легким породам приурочены дерново-подзолистые железистые почвы). Ближе к Уралу встречаются отдельные ареалы дерново-карбонатных почв, в южную часть проникают ареалы серых лесных почв. В долинах рек встречаются одиночные ареалы болотных и дерново-глеевых почв. Для структуры почвенного покрова характерно наличие сочетаний дерново-подзолистых сильно- и слабоподзоленных почв различного гранулометрического состава, формирующихся на вершинах и склонах увалов, с торфяно-подзолисто-глеевыми почвами плоских слабодренированных понижений. Распространение гидроморфных и полугидроморфных почв незначительно превышает 10 %.

Для дерново-подзолистых почв характерно деление их профиля на дерновый, гумусовый, гумусово-элювиальный и подзолистый горизонты. Среди слабоподзолистых преобладают глинистые и тяжелосуглинистые, которые формируются на некарбонатных покровных глинах и тяжелых суглинках или пермских опесчаненных суглинках. Они наиболее распространены. Почвы подвержены эрозии. Легкосуглинистые дерново-подзолистые почвы формируются на водно-

ледниковых отложениях, подстилаемых карбонатными глинами или тяжелыми суглинками, реже на элювии пермских слабокарбонатных песчаников. Дерново-подзолистые почвы в настоящее время распаханы на 30–50 % их площади. В районах расположения городов и промышленных центров распаханность достигает 70–80 %. На пахотных территориях характерна большая степень смывности почв [23].

Буро-таежные почвы образуют небольшой ареал в предгорьях Урала и характеризуются отсутствием подзолистого горизонта. Они формируются на делювиальных суглинках под пологом еловых и елово-пихтовых лесов. Для них характерно наличие оторфованной подстилки, грубогумусового горизонта и бурого метаморфического горизонта. Для этих почв преобладает промывной тип водного режима и хороший дренаж.

Дерново-карбонатные почвы формируются на выходах известковых или карбонатных пород. Различают типичные дерново-карбонатные, выщелоченные и слабооподзоленные виды почв. Мощность гумусового горизонта изменяется от 20 до 35 см. Имеет ярко выраженную зернистую или мелкокомковатую структуру. Содержание гумуса колеблется от 4 до 6 %. У типичных дерново-карбонатных почв под гумусовым горизонтом расположена материнская порода.

Серые лесные почвы лесостепи сочетают черты дерново-подзолистых почв и черноземов. Они распространены на юге и юго-востоке территории. Почвы формируются на покровных, лессовидных или делювиальных суглинках и глинах. Среди этих почв различают темно-серые и серые (или светло-серые) почвы разной степени оподзоленности. Серые лесные почвы занимают более высокие склоны, темно-серые лесные почвы – более низкие места. Серые лесные почвы отличает четко выраженный и сложно дифференцированный профиль. В профиле выделяется лесная подстилка мощностью 2–4 см, гумусовый горизонт с мелкокомковатой или зернистой структурой (мощность 30–50 см и больше). Серые почвы (и черноземы) почти полностью распаханы. Сельскохозяйственное использование почв ухудшает их водно-физические свойства, приводит к утрате комковато-зернистой структуры, к ухудшению водных свойств, воздушного и теплового режима почв, усилению эрозии.

Черноземы занимают крайне южное положение и представлены лесостепными подтипами, приуроченными к Заволжско-Предуральской лесостепи. В основном доминируют черноземы выщелоченные, реже встречаются типичные и оподзоленные, а также единичные крупные ареалы черноземов остаточного-карбонатных, лугово-черноземных, серых и темно-серых лесных почв под сохранившимися лесами. От темно-серых почв черноземы отличаются большей мощностью гумусового горизонта, меньшей выщелоченностью от карбонатов, лучшей оструктуренностью.

Черноземы остаточного-карбонатные развиваются на маломощном щебнистом элювии коренных плотных пород различного возраста. Местами они формируются на маломощных карбонатных глинах и суглинках.

Гидроморфные почвы широко распространены на севере региона. Причиной переувлажнения почв являются атмосферные осадки и грунтовые воды. К гидроморфным почвам относятся болотные и болотно-подзолистые почвы. В основном они приурочены к среднетаежной зоне, встречаются в южной тайге (при наличии песчаных низин). В составе болотных почв много торфяных почв верхового типа, южнее формируются болота переходного и низинного типов. На участках речных пойм с избыточным увлажнением развиты аллювиальные болотные и лугово-болотные почвы, местами распространены торфяники. В составе болотных почв выделяются торфяно-болотные, торфяно-глеевые разновидности. Торфяно-болотные почвы имеют мощный слой торфа (более 50 см). Их отличает невысокая кислотность (по сравнению с верховыми болотами). Торфяно-глеевые почвы, наоборот, имеют меньшую мощность торфяного слоя (от 30 до 50 см), корневая система растительности находится в сильно заболоченном подстиляющем слое с повышенной кислотностью среды.

Профиль торфяных почв включает два слоя: горизонт торфяной и глеевый. Слой торфа имеет толщину от 50 до 100 см и больше. Верховые торфяные почвы отличаются малой степенью разложения торфа, волокнистостью, значительной влагоемкостью. Болотные почвы низинного типа имеют высокую степень разложения торфа, низкую влагоемкость. Они потенциально более плодородны, чем почвы верховых болот.

Аллювиальные почвы подразделяются на дерновые, луговые кислые (слабокислые) и насыщенные, на гидроморфные аллювиальные болотные и лугово-болотные. К долинам горных рек приурочены аллювиальные маломощные почвы горных рек. Аллювиальные почвы лесостепной зоны характеризуются темноцветностью и черноземовидностью, что отражает повышенное гумусонакопление. В прирусловой части поймы располагаются аллювиальные слоистые почвы. Темные слои (перегной) перекрываются наилом во время заливания поймы речными водами. На более низких участках речных пойм (с избыточным увлажнением) развиты лугово-болотные почвы. Аллювиальные почвы активно используются в сельском хозяйстве. Они распахиваются или используются как пастбища и заливные луга.

В пределах Уральской горной провинции распространены горные подзолистые, бурые грубогумусовые, горные луговые и горно-тундровые почвы [16, 24]. Они формируются на магматических ультраосновных и основных породах (конгломераты, песчаники, алевриты, алевриты карбонатные и метаморфические). Высокогорные горно-тундровые, горно-луговые и горно-лесолуговые почвы формируются на высотах более 1200 м. Горнолесные почвы характерны для среднегорий (500–1200 м), где они имеют две разновидности: горные буроземы грубогумусовые и горные подзолистые почвы. В пределах Южного Урала находится зона горных серых лесных почв. Для горных территорий велика роль склонового потока веществ, влияющего

на изменение профиля почв, содержание органического вещества, состав обменных оснований, кислотность и водопроницаемость почв [25].

Горно-тундровые почвы занимают высокогорные позиции, состоят из торфянисто-перегнойного горизонта мощностью 7–15 см и минерального слоя, переходящего в толщу каменистого материала. Горно-тундровые дерновые почвы отличает наличие дерново-перегнойного горизонта. Для почв характерно большое содержание гумуса, в составе которого преобладает гумин. Реакция среды – кислая.

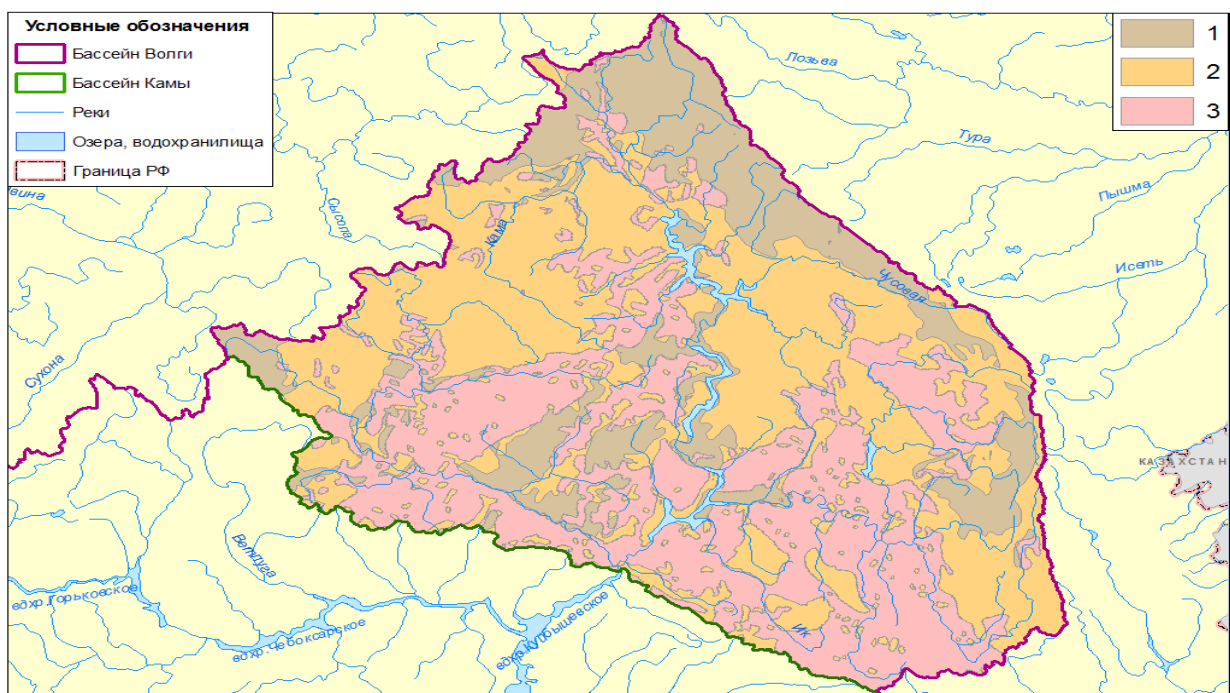
Горно-луговые почвы залегают ниже горно-тундровых, расположены на юге региона. Они формируются на суглинистом сильнощелочистом элювии и элюво-делювии плотных пород.

Горные подзолистые почвы формируются в горно-таежных лесах на элювии массивно-кристаллических пород, имеют вполне развитый профиль, типичный для подзолистых почв. Оподзоленность здесь выражена слабо. Мощность лесной подстилки с моховым покровом составляет 5–8 см. Ниже залегает подзолистый горизонт мощностью 12–15 см. Иллювиальный горизонт имеет плотное сложение. В почве встречается щебень. Подстилающими породами служат каменноугольные и девонские известняки, известковистые песчаники, плотные глинистые сланцы.

Горные бурые лесные почвы формируются под смешанными, широколиственными и изредка под пихтовыми лесами на элювии кислых малокарбонатных плотных пород. Они образуют комплексы с горными подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами. Генетический профиль горных бурых лесных почв слабо дифференцирован на горизонты. Наиболее четко выделяется верхний гумусовый горизонт мощностью 10–15 см. Характерно оглинивание средней части профиля.

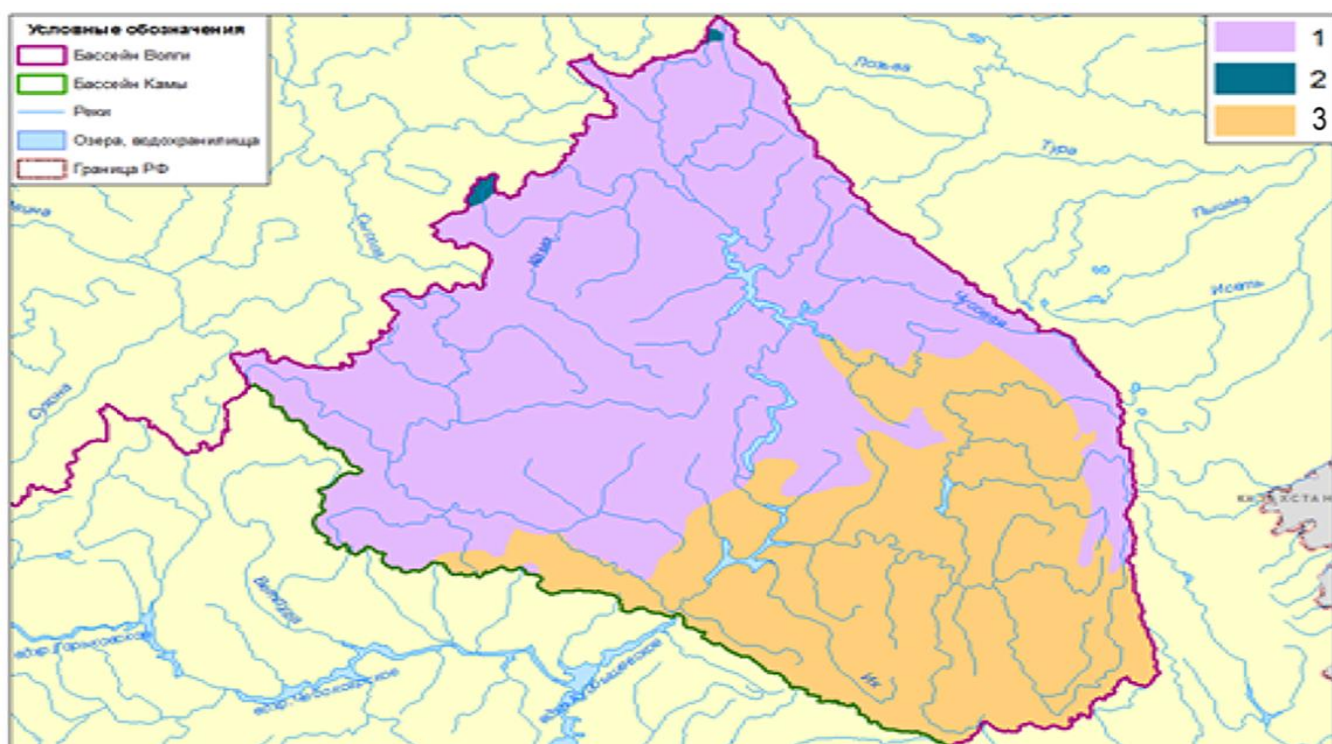
Интенсивное воздействие на почвы осуществляется на 35 % территории бассейна (рисунок 1.7) [26]. В естественном состоянии почвы сохранились более чем на 20 % площади водосбора Камы. Почвы, относительно слабо измененные хозяйственной деятельностью, занимают 44 % этой площади.

В северной части района и на Урале (63 % площади бассейна) преобладают подзолистые почвы и подзолы. Здесь слой осадков больше слоя испарения, что обуславливает промывной тип водного режима почв (рисунок 1.8) [27]. В южной части бассейна Камы и на 37 % его площади (в основном в бассейне Белой) распространен периодически промывной режим. Он характерен для районов, где количество выпадающих осадков примерно равно испарению; в годы с повышенным увлажнением слой атмосферных осадков в таких районах превышает слой испарения, что соответствует формированию промывного режима, а в сухие годы для них типичен непромывной водный режим.



Масштаб: 1:5 100 000

Рисунок 1.7 – Хозяйственное изменение состояния почв в бассейне Камы
 1 – почвы в естественном состоянии; 2 – почвы в условно естественном состоянии; 3 – почвы, находящиеся в хозяйственном обороте



Масштаб: 1:5 100 000

Рисунок 1.8 – Типы водного режима почв в бассейне Камы
 1 – промывной режим; 2 – промывной водный режим почв с периодическим застоем поверхностных или грунтовых вод; 3 – периодически промывной режим почв

На основной части бассейна (63 % площади) почвы характеризуются, согласно классификации ФАО, оптимальной дренированностью (рисунок 1.9) [26]. В зависимости от степени изменения дренированности почв в Камском бассейне выделяются семь классов почв. При оптимальной дренированности почв вода просачивается в почву легко, но не быстро. Почва сохраняет оптимальное количество влаги, если уровень увлажнения почвы длительно не препятствует росту корней растений. Почва остается влажной на глубине развития корневой системы.

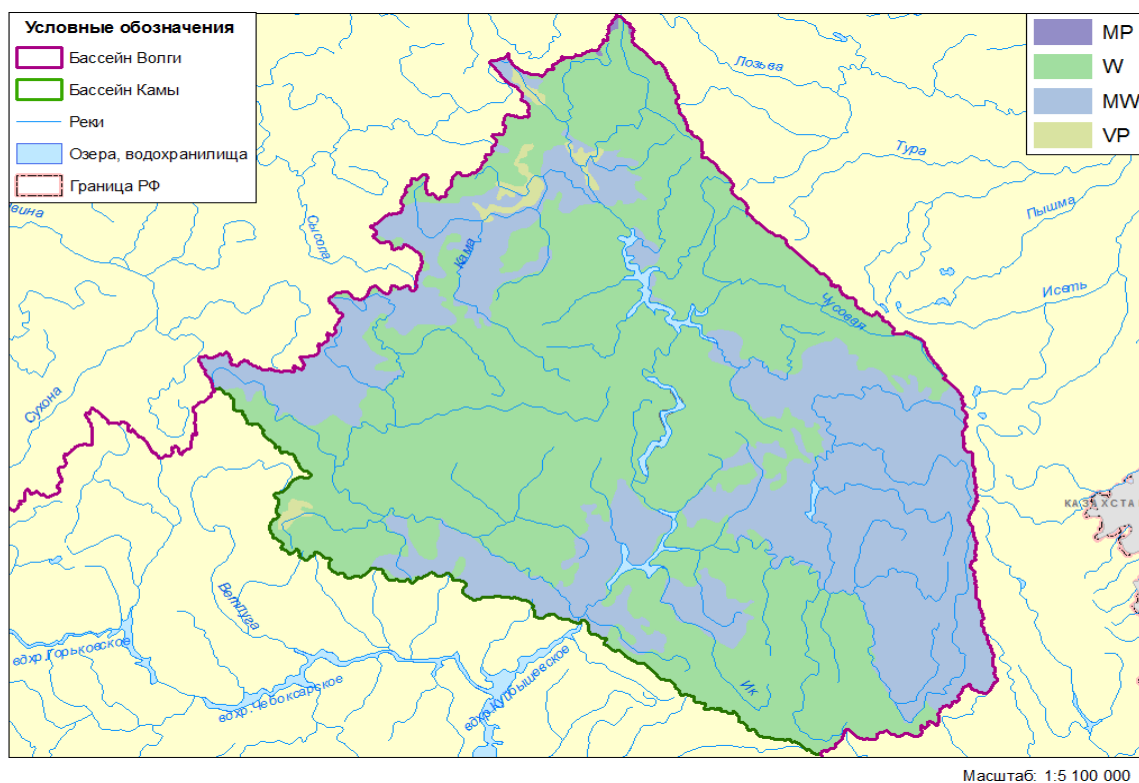


Рисунок 1.9 – Степень дренирования почв в бассейне Камы

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

В северной части региона преобладают почвы, для которых запасы влаги в их метровом слое при влажности завядания находятся в пределах от 120 до 160 мм (рисунок 1.10, а) [28], а влагозапасы почв в метровом слое, соответствующие полевой влагоемкости, – 350–400 мм (рисунок 1.10, б). В южной части бассейна Камы характерные значения этих характеристик возрастают до 160–200 мм и 400–480 мм соответственно.

Дегумификация почв происходит в основном при их сельскохозяйственном использовании. В этом случае ухудшаются водные свойства, утрачивается комковато-зернистая структура почв, что негативно влияет на их водный, воздушный и тепловой режим, способствует интенсификации эрозийных процессов, сопровождается уменьшением содержания гумуса.

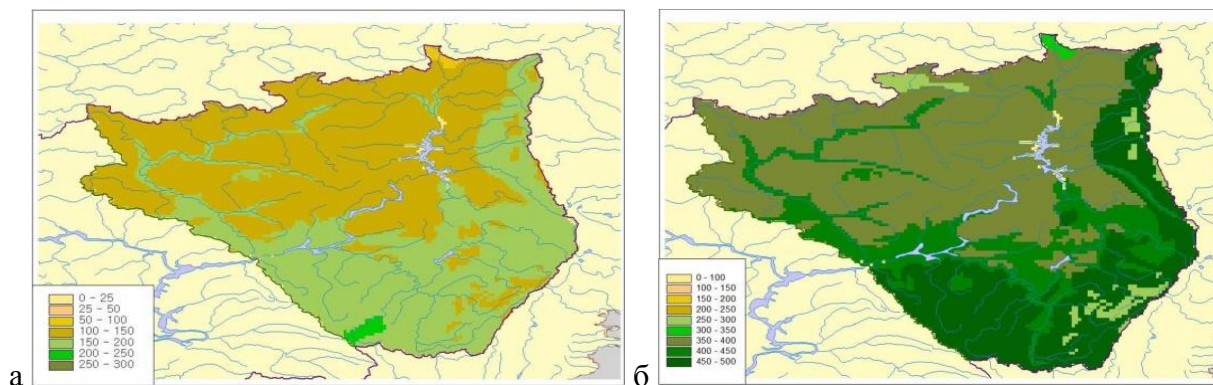


Рисунок 1.10 – Запасы влаги в метровом слое почв бассейна Камы (мм)
 а – влажность завядания, б – полевая влагоемкость

1.3 Растительный покров

Бассейн Камы характеризуется значительным разнообразием растительного покрова, что обусловлено его расположением в пределах нескольких природных зон, а также на стыке Восточно-Европейской равнины и Уральской горной страны. В бассейне выделяются четыре равнинных и два горных экорегиона (рисунок 1.11).

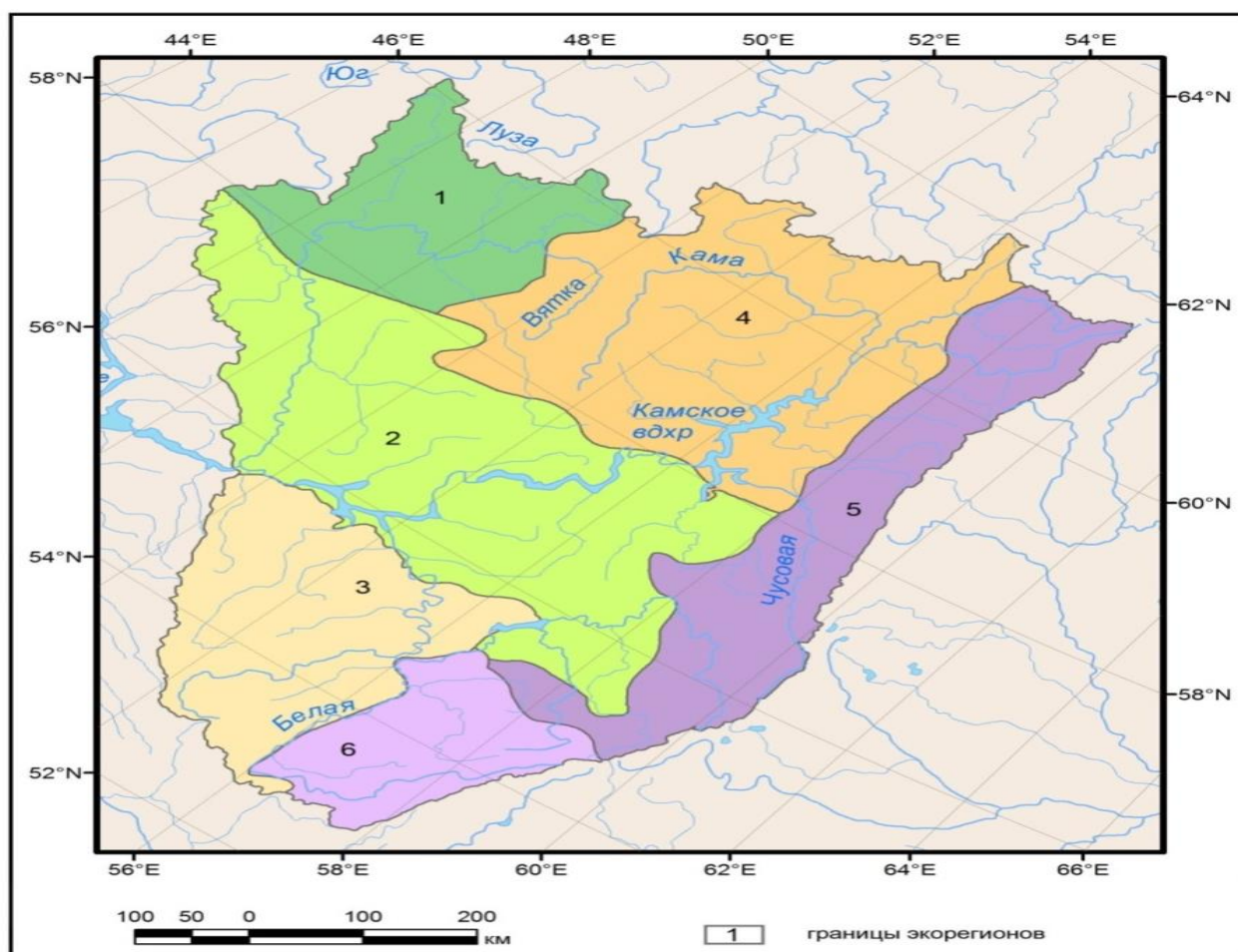


Рисунок 1.11 – Экологические регионы в бассейне Камы

Они отличаются по биоклиматическим показателям и формационному составу лесов. Прибалтийско-Ветлужский и Приуральский регионы соответствуют южной тайге и занимают 167,3 тыс. км² (или 36 % общей площади бассейна Камы). Полоса широколиственно-хвойных лесов (Вятско-Камский регион) имеет площадь 126,8 тыс. км² (22 %). Лесостепной (Заволжский) регион занимает 65,9 тыс. км² (13 % территории бассейна). На долю горных регионов приходится 147 тыс. км² (29 %).

Почти вся северная часть бассейна Камы находится в пределах полосы южно-таежных лесов, протянувшейся от верховий Ветлуги (на западе) до предгорий Урала (на востоке). Неоднородность территории по климатическим факторам и литологическим особенностям подстилающих пород – причина значительных различий в структуре южно-таежных лесов в пределах бассейна Камы. Они обуславливают существование западного Прибалтийско-Ветлужского и восточного Приуральского экорегионов. Наиболее ярко эти биоклиматические различия выражаются в смене состава основных лесобразующих пород. На западе преобладают леса формации ели европейской при участии гибридной ели финской, на востоке – большая часть лесов принадлежит формации ели сибирской. Иногда в их составе присутствует примесь пихты сибирской, которая местами играет ведущую роль в сложении древостоя. Также в качестве примеси в этом составе представлен кедр сибирский и лиственница сибирская. В травяно-кустарничковом ярусе характерно значительное участие видов высокотравья, а также крупных папоротников.

Темнохвойные еловые (на западе) и пихтово-еловые леса (на востоке), светлохвойные сосновые травяные леса имеют сложную структуру с разнообразным подлеском и хорошо развитым травяно-кустарничковым ярусом; моховой покров отличается фрагментарностью. Сосновые леса распространены разрозненными массивами, приуроченными к песчаным и супесчаным почвам равнинных территорий.

В пределах Прибалтийско-Ветлужского региона распространены еловые леса (зеленомошные, реже долгомошные, сфагновые и травяно-болотные типы). Значительные площади заняты сосновыми лесами с травяно-кустарничковым покровом в соответствующих местообитаниях. В долине Вятки встречаются отдельные массивы липово-пихтово-еловых лесов. Лесистость территории достигает 78,0 %, но сохранность лесов сравнительно небольшая – более половины лесопокрытых площадей приходится на лесные производные массивы с преобладанием мелколиственных пород.

В Приуральском регионе абсолютно преобладают пихтово-еловые леса. Однако более 2/3 площади распространения занято вторичными лесами с преобладанием мелколиственных пород. Наиболее крупные сохранившиеся массивы пихтово-еловых лесов приурочены к верховьям Вятки, где представлены практически все их группы. Сосновые леса приурочены к террасам крупных рек – Камы, Вятки, Чепцы, Косы. Липово-пихтово-еловые леса занимают небольшие

площади по долинам рек. Лесистость составляет 64,1 %, она заметно больше в северной и восточной частях региона.

К Вятско-Камскому региону широколиственно-хвойных лесов относится центральная часть территории бассейна. В контактной полосе бореальных хвойных таежных лесов (на севере) и широколиственных лесов и лесостепи (на юге) находятся подтаежные леса. Хвойные древостои обогащены участием широколиственных древесных пород (главным образом – липы). В подтаежных лесах незначительно участие дуба и относительно мало участие клена в сложении древостоев, отсутствует ясень. Ведущей широколиственной породой является липа. Темнохвойные породы представлены елью и пихтой. Древесный ярус имеет сложную структуру, включающую до 4 подъярусов. Ярус подлеска развит достаточно хорошо и образован неморальными видами (лещина, бересклет европейский, жимолость лесная и др.). Травяно-кустарничковый ярус сочетает в своем составе таежные и широколиственно-лесные, а в ряде случаев и лесостепные виды.

Западная (до долины Камы) и восточная части Вятско-Камского экорегиона отличаются по характеру современного растительного покрова, что связано с естественными их различиями в продолжительности и масштабах хозяйственного освоения территории. Западная часть территории характеризуется относительно малой лесистостью – около 45 %. Здесь широко распространены пихтово-еловые и липово-пихтово-еловые леса, отличающиеся разнообразием. По долинам Вятки и ее притоков (Воя, Кильмезь), а также в среднем течении Ветлуги распространены массивы сосновых и широколиственно-сосновых лесов.

На левобережье Камы лесистость превышает 60 % (при небольшой сохранности лесов). Здесь много липово-пихтово-еловых лесов всех типологических групп (широколистно-кисличные, кислично-папоротниковые, черничные), а также пихтово-еловых широколиственных лесов. Эдификаторами и доминантами являются сибирские виды. В широколиственно-елово-пихтовых лесах Прикамья и Приуралья заметную роль играют уральские и сибирские виды (*Cacalia hastata*, *Vupleurum aureum*, *Stellaria bungeana*, *Cicerbita uralensis*). Склоны речных долин заняты сосновыми травяными и липовыми широколиственными и широколиственно-высоколистными лесами.

Широколиственные леса и лесостепь Заволжского экорегиона занимают в бассейне Камы 13 % его площади. До масштабной вырубki широколиственные леса простирались сплошной полосой от Атлантики до Урала; на север их продвижение осуществлялось по долинам малых рек. К югу от лесостепи широколиственные леса спускались с плакоров ближе к долинам водотоков. В последние столетия занимаемые ими площади сильно сократились, а структура претерпела существенные изменения. Фрагменты широколиственных лесов имеют островной характер, окружены сельскохозяйственными землями, поселениями и другими измененными природными ландшафтами.

К востоку от р. Камы и южнее восточноевропейские широколиственные леса встречаются отдельными массивами, чередуются с участками луговых степей (лесостепи). В настоящее время на равнинах они занимают примерно 10–15 % территории, в лесостепной зоне – 10–12 % площади. Для этой части бассейна Камы характерно сочетание фрагментов широколиственных лесов и лесостепи. Наиболее крупные фрагменты находятся в бассейнах рек Мензель, Чермасан, Дема. Широколиственные леса представлены дубово-липовыми, липовыми и кленово-дубово-липовыми породами деревьев. Они имеют выраженный кустарниковый ярус лещины, бересклета европейского и бородавчатого, жимолости лесной, калины.

Степные участки представлены луговыми и разнотравно-ковыльно-типчаковыми степями, которые сильно трансформированы. Старовозрастные широколиственные леса занимают ничтожные площади. В западной части территории сохранились небольшие фрагменты сосновых и широколиственно-сосновых лесов. Богато разнотравно-ковыльные (на севере) и ковыльно-разнотравные (на юге) степи почти полностью распаханы. В той или иной степени деградированная степная растительность сохранилась только по склонам речных долин и оврагов [29].

Западно-Среднеуральский горный экорегион занимает крайний северо-восток бассейна Камы. Для региона характерна последовательная смена высотных поясов (гольцово-тундровый, ерниковый редколесно-таежный (темнохвойные кедрово-еловые, пихтово-еловые леса). Горнотаежный пояс с преобладанием пихтово-еловых зеленомошных и папоротниковых лесов расположен на высотах 300–700 м. Верхняя граница леса соответствует высотам 700–800 м. На Среднем Урале пояс горных тундр начинается с высоты 800 м; на Южном Урале он расположен значительно выше – 1300–1500 м.

Южно-Уральский горный экорегион имеет другую систему высотных поясов. В зональном плане Южный Урал относится к зоне широколиственных лесов. В высотно-поясном спектре здесь преобладают широколиственные, преимущественно дубовые и липово-дубовые леса, поднимающиеся до высоты 400–650 м; выше идут елово-пихтовые леса. Верхняя граница леса находится на высоте 750 м, где специфичны дубовые редколесья. Выше идут можжевельниковые стланики, березово-ивовые кустарники с фрагментами субальпийских лугов. В горно-тундровом поясе преобладают мохово-лишайниковые и дриадовые тундры.

Лесистость в бассейне р. Кама неодинакова; она уменьшается при переходе от таежных лесов к лесостепным территориям. Средняя лесистость бассейна региона относительно велика, составляет порядка 60 % [30]. В северной части бассейна она достигает 80–85 %; в широколиственно-хвойных лесах – порядка 50 %; в небольшой по площади полосе широколиственных лесов лесопокрываемые площади составляют 15 % (приволжская часть), 12 % (заволжская лесостепь). В других условиях лесостепи лесистость меньше – до 5–6 %.

Леса бассейна Камы – мощный регулятор гидрологического режима всего бассейна Волги. Они имеют длительную историю развития, связанную с хозяйственным освоением территории. В естественном состоянии растительность бассейна Камы сохранилась лишь в пределах особо охраняемых природных территорий. В настоящее время доля пахотных земель в бассейне Камы колеблется на уровне 25–35 %, достигая в отдельных районах 70 % и более. Доля эродированных земель на пахотных угодьях в начале 1990-х гг. составила 56 % общей площади региона, что превышает опасные пределы развития процесса смыва почв и овражной эрозии [31].

Для лесного покрова бассейна Камы характерна замена еловых и пихтово-еловых лесов мелколиственными древостоями. В 1961–1971 гг. площадь пихтово-еловых лесов в Башкортостане сократилась на 40 тыс. га. На их месте сформировались насаждения мелколиственных пород: осины, ольхи, березы [32]. К 2000 г. произошло заметное сокращение площадей средневозрастных и приспевающих хвойных лесов при увеличении площади молодняков и насаждений мелколиственных пород. Одновременно произошло некоторое увеличение площадей, занимаемых липовыми лесами (на месте липово-пихтово-еловых и дубовых древостоев) в Среднем Поволжье и Приуралье [32].

В бассейне реки представлены три типа основных ландшафтных зон: таежная, широколиственная и лесостепная. Самый север региона занят преимущественно бореальными умеренно-континентальными среднетаежными ландшафтами (рисунок 1.12). Южнее располагаются южно-таежные ландшафты. Многолетняя мерзлота отсутствует. Заболоченность территории сравнительно мала.

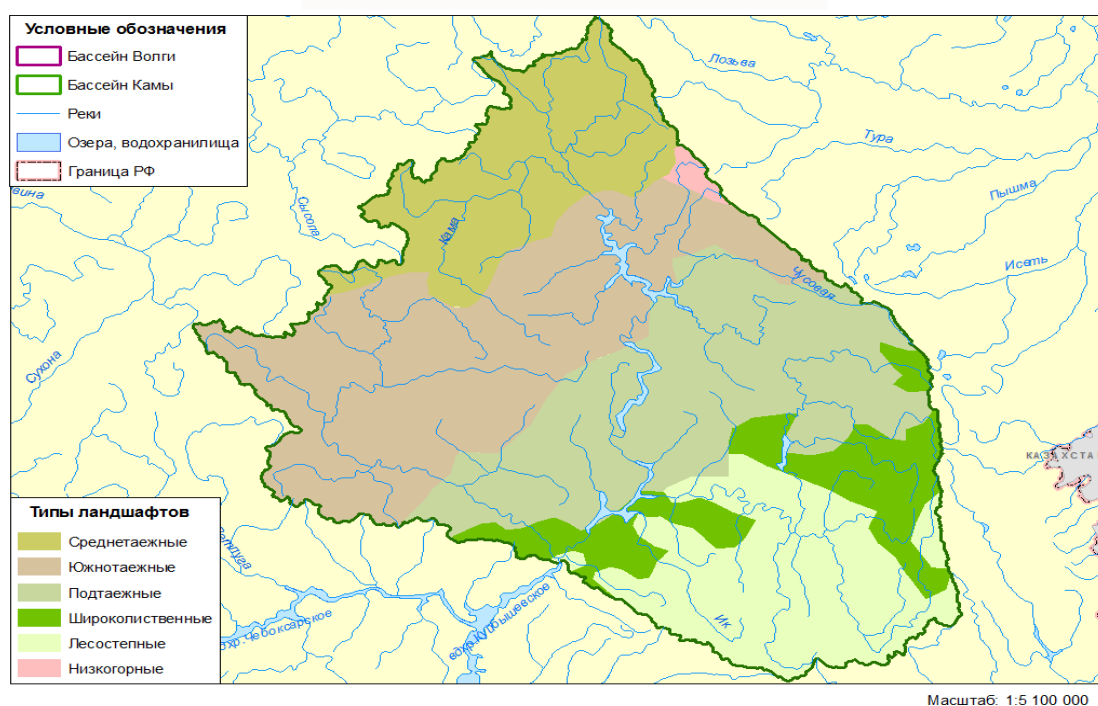


Рисунок 1.12 – Типы основных ландшафтов в бассейне Камы

1.4 Подземные воды

В гидрогеологическом отношении территория относится к Средне-Русскому и частично к Восточно-Русскому артезианским бассейнам. В ее пределах (рисунок 1.13) выделяются Ветлужский, Камско-Вятский и Предуральский артезианские бассейны, а также Большеуральская складчатая область [33].

Ветлужский артезианский бассейн (В) расположен в восточной части Московской синеклизы. Основные водоносные горизонты в этом бассейне приурочены к песчаным толщам четвертичных (аллювиальных и межморенных), юрских, триасовых и пермских отложений. Общая площадь бассейна составляет 180 тыс. км². Камско-Вятский артезианский бассейн (КВ) приурочен к северной части Волго-Уральского поднятия. Основные водоносные горизонты в этом бассейне связаны с пермскими отложениями. В терригенных отложениях (песчаники, пески, алевролиты и аргиллиты) и карбонатных породах (известняки, доломиты) выделяется ряд водоносных горизонтов. Вскрываемые в аллювиальных отложениях (в долинах рек) они широко используются для организации береговых водозаборов. Площадь артезианского бассейна составляет 350 тыс. км².

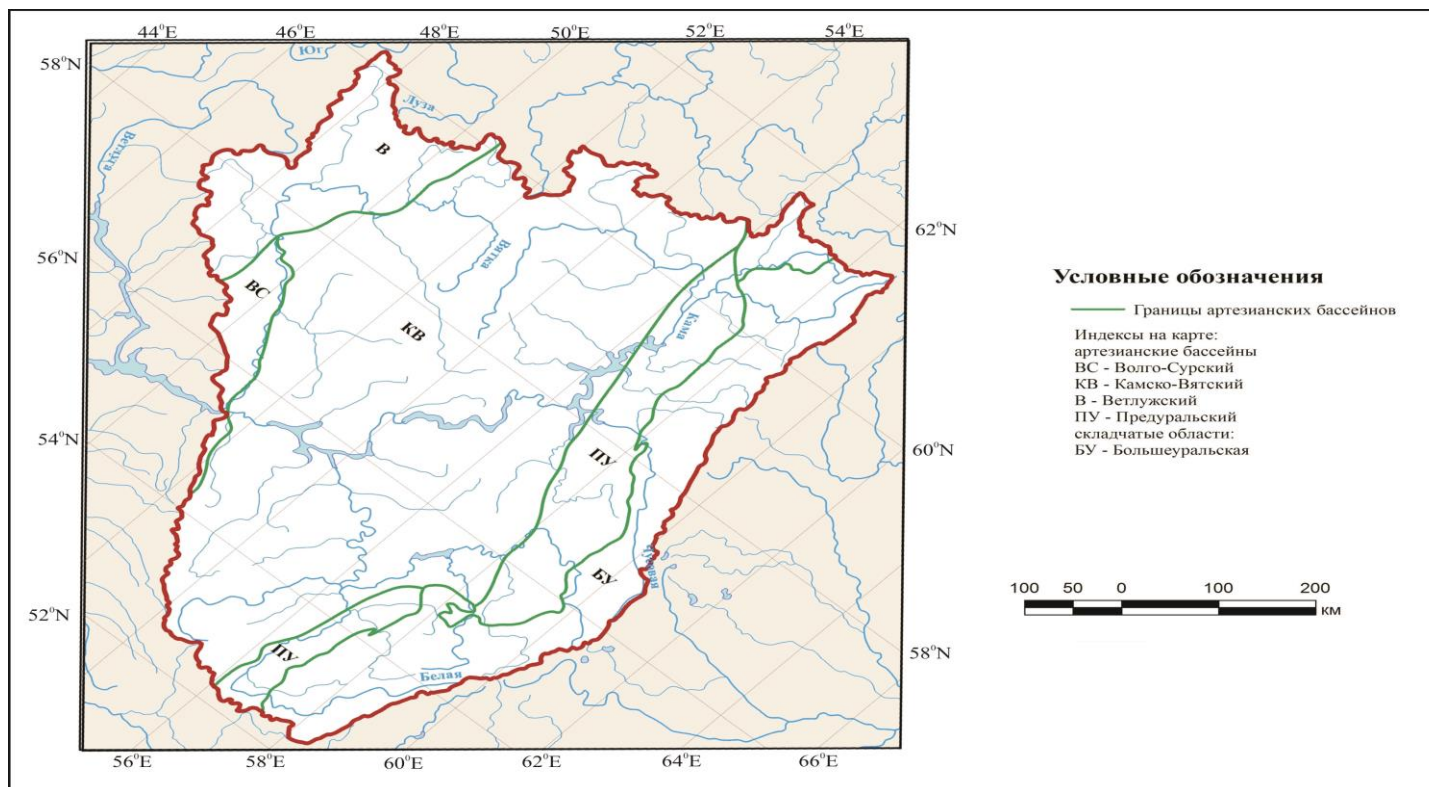


Рисунок 1.13 – Схема гидрогеологического районирования Волго-Камского бассейна. Бассейны подземных вод: Камско-Вятский (КВ); Волго-Сурский (ВС); Ветлужский (В); Предуральский (ПУ) и Большеуральский (БУ)

Предуральский артезианский бассейн (ПУ) расположен в пределах одноименного прогиба. Основные водоносные горизонты в Предуральском бассейне относятся к пермским терригенным (пески, песчаники, алевролиты) и карбонатным отложениям. Общая площадь бассейна – 78 тыс. км². Большеуральская гидрогеологическая складчатая область (БУ) территориально совпадает с расположением Уральского поднятия, имеющего субмеридиональное простирание. В пределах Урала выделяют пять основных водоносных зон в карбонатных, вулканогенно-осадочных, интрузивных, терригенных и метаморфических породах, отличающихся литологическим составом и степенью обводненности. На Южном Урале распространены подземные воды аллювиальных отложений в долинах рек.

Питание четвертичных водоносных горизонтов происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков; разгрузка в основном осуществляется в поверхностные водотоки (или в глубокие водоносные горизонты по литологическим окнам). Четвертичные водоносные горизонты в бассейне Камы формируют зону аэрации, мощность которой изменяется от 0 до 50 м и больше.

Эолово-делювиальный водоносный горизонт (*edQ*) практически повсеместно распространен в пределах Волго-Камского бассейна. Подземные воды горизонта принадлежат к типу верховодки. Они формируются в зонах расположения линз и слоев суглинков, супесей и глинистых песков. Мощность водосодержащих пород обычно не превышает 6 м. Глубина залегания колеблется от 2 до 6 м, редко достигая 10 м. Минимальная глубина залегания водоносного горизонта характерна для Вятско-Камской возвышенности, где воды способствуют заболачиванию местности. Горизонт отличает пониженная водообильность (до 1 л/сек).

Аллювиальный водоносный горизонт (*aQ*) наиболее выражен в долинах крупных рек. Здесь в мощной толще аллювиальных отложений содержатся значительные запасы подземных вод. Воды аллювиальных отложений современного, верхне- и среднечетвертичного возрастов гидравлически связаны между собой, образуют единый водоносный комплекс. Воды современных, верхне- и среднечетвертичных отложений (*aQ_{IV-II}*) приурочены к отложениям речных террас. Водовмещающими породами являются разнозернистые пески с включениями гравия и гальки, прослоями гравийно-галечниковых отложений. Их мощность отложений колеблется в широких пределах и достигает 30–40 м в долине Камы. Водоупором обычно служат глины татарского, казанского и уфимского ярусов пермского возраста. Воды в основном безнапорные; глубина их залегания изменяется от 0,2–4,7 м до 8–45 м в зависимости от расстояния до берегов рек. Удельный дебит водоносных горизонтов изменяется от 0,1 до 3,2 л/сек, иногда достигая 25 л/сек. Коэффициенты фильтрации песков и песчано-галечниковых отложения составляют соответственно 1,2–43,5 и 20–70 м/сут.

Воды аллювиальных отложений нижнечетвертичного возраста (*aQ_I*) приурочены к наиболее высоким террасам речных долин. Флювиогляциальные четвертичные отложения (*fQ*)

распространены локально (на отдельных изолированных участках в понижениях рельефа). Воды, приуроченные к этим отложениям, являются верховодкой. В зонах их расположения формируются болота и переувлажненные участки водосборов. Более глубоко расположенные водоносные горизонты образуют водовмещающие отложения неогенового, верхнеюрского, среднеюрского, нижнетриасового и пермского возрастов. Воды в этих отложениях являются напорными.

Водоносность отложений верхнего неогена (N_2) отличается крайняя неравномерность, обусловленная особенностями литологического состава водовмещающих пород. Водовмещающие породы представлены в основном мелкозернистыми песками с прослоями глин. Обводненность пород неравномерная; дебит скважин в этом горизонте составляет 0,5–3 л/сек; он постепенно уменьшается к югу.

Воды юрских отложений в пределах региона представлены двумя водоносными комплексами (верхнеюрским и нерасчлененным верхне-среднеюрским). Они распространены в основном на северо-западе Вятско-Камской впадины. Основными водовмещающими породами верхнеюрских отложений (J_3) являются глины с прослоями кварцево-глауконитовых песков и песчаников. Поскольку породы имеют прерывистое распространение, они характеризуются чрезвычайно слабой обводненностью (дебит родников до 4–6 л/сек). Коэффициенты фильтрации для этих отложений изменяются от 1,17 до 15,5 м/сут.

Воды, приуроченные к верхне-среднеюрским отложениям (J_{2+3}) в пределах Вятско-Камской впадины, образуют единый водоносный комплекс. Основными водовмещающими породами данного водоносного комплекса являются пески с прослоями гравия и гальки мощностью до 39 м. Водоупором служат глины и песчано-глинистые образования нижнетриасового комплекса. Перекрываются отложения глинами верхнеюрского возраста. В результате подземные воды приобретают напорный характер. Максимальный напор составляет порядка 67,7 м. По периферии Вятско-Камской впадины отложения верхне-среднеюрского возраста перекрыты флювиогляциальными песками, через которые атмосферные осадки и фильтрующиеся воды поверхностных источников достигают водовмещающих пород. Дебиты скважин изменяются от 0,84 до 2,75 л/сек. Для самоизливающихся вод дебит скважин изменяется от 0,001 до 13 л/сек. Такие отличия связаны с изменением гранулометрического состава водовмещающих песков и их мощности.

Для нижнетриасовых отложений (T_1), распространенных в северной части Вятско-Камской впадины, водовмещающими породами являются пески мелко- и среднезернистые и песчаники с прослоями алевролитов, глин и линзами конгломератов. Мощность горизонта изменяется по площади его распространения и составляет 10 м в среднем течении рек Кобра и Вятка; 16–17 м – в междуречье Камы и Вятки; порядка 20 м – в среднем течении р. Ветлуга. Водоносные горизонты

нижнетриасовых отложений напорные: величина напора изменяется от 0,8 м в среднем течении Ветлуги до 109 м в междуречье рек Молома и Лапшанга.

Отложения нижнего триаса водообильны; дебит родников составляет 0,1–0,6 л/сек, достигая 1,5 л/сек. Расход самоизливающихся вод изменяется от 0,1 до 0,5 л/сек, достигая 5 л/сек (долина р. Кобра). Коэффициент фильтрации колеблется в пределах 0,5–1,5 м/сут, иногда составляя 6,6 м/сут. В верхней части отложений водообильность относительно мала (коэффициент фильтрации в среднем равен 1 м/сут, дебит скважин – около 1,18 л/сек).

Пермские отложения распространены практически на всей территории Вятско-Камской впадины. В их вертикальном профиле представлены водоносные горизонты татарского, казанского, уфимского ярусов. В Предуралье значительные площади занимают нижнепермские отложения.

Татарские отложения (P_{2t}) сложены в основном мергелями, глинами и песчаниками с прослоями известняково-доломитовых пород. В целом водоносный горизонт характеризуется переменным литологическим составом, что вызывает частую смену водоносных и водоупорных горизонтов. Максимальная мощность татарских отложений составляет 150–200 м. Основными водовмещающими породами являются прослойки песков, песчаников, конгломератов, алевролитов, известняков и мергелей. Водообильность отложений на северо-востоке района не превышает 0,01–0,24 л/сек, а на юго-западе достигает 1,32 л/сек. Она изменяется по вертикальному профилю, достигая 3–5 л/сек в его нижней части.

Зона распространения казанских отложений (P_{2kz}) совпадает с территорией залегания татарских отложений. Их мощность возрастает в восточном направлении, достигая 200–250 м в бассейне Вятки. На северо-востоке региона она не превышает 130–140 м. Литологический состав отложений в северо-восточной части Вятско-Камской впадины представлен преимущественно известняками и загипсованными доломитами; в районе г. Казань в нем увеличивается доля песчаных и глинистых прослоев. Восточнее бассейна Вятки казанские отложения формируют континентальные песчано-глинистые породы. Отложения северо-восточной части Вятско-Камской впадины наиболее водообильны (дебиты родников составляют 2–5 л/сек и больше). К юго-западу региона водообильность отложений существенно уменьшается (дебиты родников составляют 1–2 л/сек). Скважины в основном самоизливающиеся, их дебит достигает 48 л/сек.

Уфимские отложения (P_{2u}) занимают широкую полосу, параллельную оси Уральского хребта. Основные водовмещающие породы: пестроцветные песчаники и глины, алевролиты, мергели с прослоями известняков, доломитов, брекчий гипсов, ангидритов и каменной соли. Отложения выходят к поверхности на небольших участках в северной части региона. На остальной территории они погружены на значительную глубину (г. Глазов – 551 м; с. Опарино – 780 м). Воды в отложениях уфимского возраста приурочены к отложениям песчаников и

алевролитов, прослоев известняков и мергелей. Водообильность водоносного горизонта неоднородна (удельный дебит изменяется от 0 до 2,2–4,0 л/сек). В районе г. Елабуга, например, водоносный горизонт представлен переслаивающимися глинами и песчаников общей мощностью 15–18 м (коэффициент фильтрации равен 11,8–13,4 м/сут; удельный дебит скважин – 2,2–2,37 л/сек). В районе г. Набережные Челны профиль отложений включает четыре слоя песчаников, переслаивающихся с глинами (коэффициент фильтрации составляет 1,48–7,36 м/сут; удельный дебит – 0,15–0,5 л/сек). Обводненность уфимского водоносного горизонта неоднородна к югу от долины Камы, в восточной части Татарстана. В среднем течении р. Ик уфимские отложения представлены преимущественно глинами с редкими прослоями песчаников и дебитом источников 0,12–0,5 л/сек. В более западных районах удельный дебит источников возрастает до 3,46–5,8 л/сек.

Залегание вод нижнепермских отложений (P_1) имеет меридиональное простирание, параллельное оси Уральских гор. Отложения представлены доломитами, известняками, ангидритами, гипсами с прослоями каменной соли. Нижнепермская галогенная толща в основном безводна и служит региональным водоупором. Он разделяет маломинерализованные подземные воды мезокайнозойских и верхнепермских отложений от нижерасположенных высоконапорных вод и рассолов карбона и девона.

В восточной части Уральских гор простирание водосодержащих горных пород имеет геосинклинальный характер. Водообильность водоносных горизонтов этого района зависит от трещиноватости водовмещающих пород. Подземные воды зон трещиноватости взаимосвязаны, безнапорны и образуют небольшие бассейны с интенсивным водообменом, что предопределяет их ультрапресный и пресный характер

Грунтовые воды аллювиальных отложений (aQ) распространены преимущественно в долинах рек, характеризуются небольшой мощностью (1–5 м), исключительно изменчивым химическим составом. Воды аллювиальных отложений обычно тесно связаны с поверхностными водами и водами в зонах трещиноватости коренных пород. Как правило, они безнапорные. На отдельных участках, когда аллювий перекрывается суглинками и глинами, создается местный напор. Практического значения воды аллювиальных отложений не имеют, за исключением областей, где отложения характеризуются существенной мощностью и водообильностью. В среднем дебит скважин и колодцев колеблется от 0,1 до 8 л/сек; расходы редких родников – не превышают 2 л/сек.

Водоносный комплекс нижнепермских каменноугольных отложений ($C+P_1$) представлен преимущественно песчаниками, конгломератами и алевролитами. Частые изменения в литологическом составе толщи обусловили отсутствие более или менее выдержанных по площади водоносных горизонтов. В верхней части развиты безнапорные трещинно-грунтовые воды.

Расходы родников колеблются в широких пределах (от незначительных до 15 л/сек.), а дебиты скважин чаще всего составляют 0,5–3 л/сек., редко достигая 6–10 л/сек.

В составе карбонатных отложений среднекаменноугольного возраста существуют обводненные толщи, разделенные водоупором. Водовмещающими породами служат известняки, доломиты и доломитизированные известняки, водообильность которых весьма изменчива. Подземные воды вскрываются на глубине от 0 до 120 м. На куполовидно приподнятых слабо трещиноватых участках уровень подземных вод находится значительно ниже русел рек, что создает условия для поглощения поверхностного стока и образования суходолов (особенность, характерная для р. Молмыс (бассейн Вишеры). Удельные дебиты скважин изменяются от 0,01 до 15 л/сек. Вниз по профилю горных пород их трещиноватость и закарстованность уменьшаются, что обуславливает резкое снижение водоносности пород.

Отложения нижнего карбона характеризуются наличием мощной угленосной толщи (hC_1), являющейся региональным водоупором, разделяющим среднюю и нижнюю обводненную толщу карбонатных пород. В целом водоносность горных пород относительно мала. Дебиты родников обычно не превышают 2–3 л/сек, но иногда достигают 35 л/сек. Воды угленосных отложений характеризуются гидрокарбонатным кальциевым (реже гидрокарбонатно-сульфатным кальциевым) составом воды с минерализацией до 0,5 г/л.

Формирование подземного стока в бассейне Камы осуществляется на разном удалении от земной поверхности. В регионе выделяются ярусы местного и регионального подземного стока. Местный ярус объединяет водоносные отложения мезокайнозойских и верхнепермских отложений, разделенные регионально выдержанным водоупорным слоем, образованным глинисто-соляными и гипсово-ангидритовыми толщами отложений кунгурского возраста. Ярус регионального подземного стока образован водоносными толщами горных пород нижнепермского, каменноугольного, турнейско-фаменского и франско-эйфельского возраста [35]. Первый из ярусов образует зону интенсивного подземного стока. В ее пределах также находятся участки выхода к поверхности горных пород второго яруса. Зона затрудненного подземного стока может объединять водовмещающие толщи горных пород обоих ярусов.

Особенность территории заключается в преобладании карбонатного карстующегося и лито-трещинного типа геофильтрационной среды в вертикальном профиле зоны интенсивного водообмена. Средние значения модуля подземного стока на участках распространения карбонатных пород (рисунок 1.14) изменяются от 0,5–4 (малые водотоки) до 1,7–8 л/сек км² (основные водотоки территории). Для лито-трещинного типа среды (толщи терригенных пород) величина модулей подземного стока изменяется соответственно от 0,6–1,1 до 0,3–2 л/сек км².

При прочих равных условиях характер распределения величин подземного стока связан с распределением количества атмосферных осадков и совершенством дрен. В соответствии с

зональным распределением годовой суммы осадков изменяются и модули подземного стока. При доминировании карбонатных отложений их величина колеблется от 1,7 до 3,8 л/сек км²; в зонах преобладания терригенных водовмещающих пород – от 0,5 до 2,1 л/сек км², что обуславливает существенно большую изменчивость (на 3–15 %) коэффициента подземного стока в районах их распространения. В климатических подрайонах территории наименьшие модули подземного стока свойственны терригенным отложениям триаса (0,1–0,5 л/сек км²) и верхней перми (0,5–1 л/сек км²). Небольшие величины модуля (0,5–1 л/сек км²) характерны для неогеновых и четвертичных аллювиальных отложений. Максимальные их значения приурочены к водосодержащим карбонатным отложениям верхне- и нижнепермского возраста (соответственно 5–7 и 3–5 л/сек км²). На юге и юго-западе региона карбонатные отложения верхнепермского возраста и терригенные отложения юры и мела также отличают повышенные значения модулей подземного стока (3–5 л/сек км²). Такие же величины модуля характерны и для северной части территории. Увеличение доли трещиноватых песчаников в составе терригенного верхнепермского водоносного комплекса приводит к возрастанию модуля подземного стока до 3–5 л/сек км².

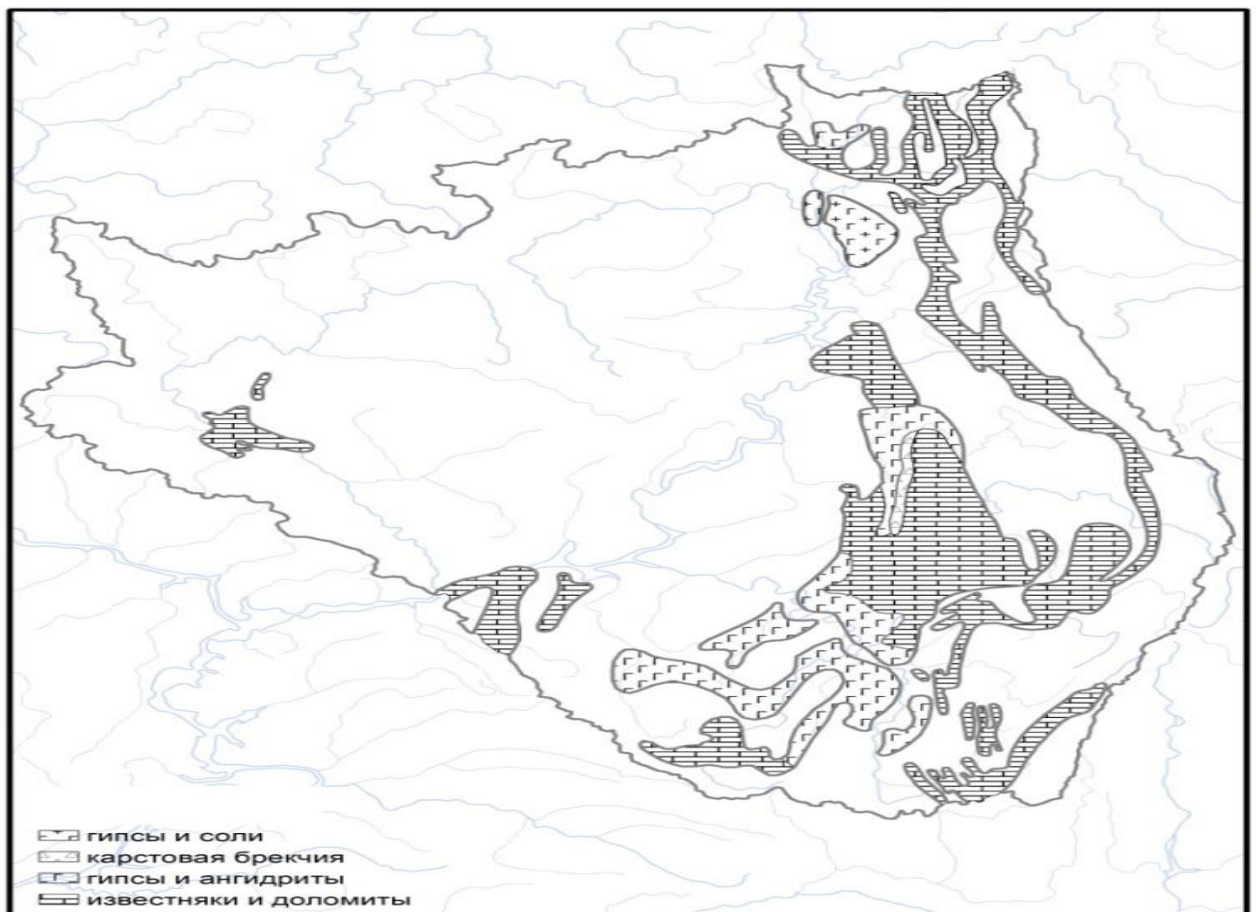


Рисунок 1.14 – Области распространения карстующихся пород в бассейне Камы

При погружении водосодержащих карбонатных каменноугольных отложений под терригенные отложения нижнепермского возраста происходит резкое увеличение разгрузки

подземных вод в речных долинах, врезанных в толщу этих отложений. Максимальная разгрузка водообильных карбонатных палеозойских отложений характерна для долин рек Колва ($10,5 \text{ м}^3/\text{с}$), Косьва ($10,3 \text{ м}^3/\text{с}$), Вишера ($10 \text{ м}^3/\text{с}$), Сим ($4,3 \text{ м}^3/\text{с}$), Язьва и Юрюзань ($3 \text{ м}^3/\text{с}$). На участке вскрытия долиной р. Яйва границы между терригенными и погружающимися под них карбонатными породами верхней перми величина разгрузки подземных вод достигает $10,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Условия формирования подземного стока нарушаются под влиянием развития карста. В пределах Уфимского плато для наиболее крупного водосбора р. Уфа величина модуля составляет 4 л/сек км^2 . В целом величина подземного стока для территории площадью 750 тыс. км^2 составляет $39,4 \text{ км}^3/\text{год}$ (средний расход $-1250 \text{ м}^3/\text{сек}$), а средний модуль подземного стока – $1,7 \text{ л/сек км}^2$.

2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ ИЗУЧЕННОСТЬ

2.1 Гидрографическая сеть

Бассейн Камы граничит с бассейнами Северной Двины, Печоры, Оби, Урала, Верхней и Нижней Волги. Длина Камы составляет 1805 км, площадь бассейна равна 507 тыс. км² (рисунок 2.1). По типизации [34] Кама имеет асимметричный левосторонний корневой рисунок речной сети. Крупнейшие притоки (реки Белая и Вятка) впадают в Каму в нижнем течении. Площадь правобережных притоков равна 164 тыс. км², левобережных – 273 тыс. км² (таблица 2.1).

Средняя плотность речной сети составляет 0,50 км/км². Средняя плотность речной сети в пределах бассейна Камы (рисунок 2.2) плавно уменьшается с севера на юг под влиянием нестабильности составляющих водного баланса территорий и а зональных факторов. В разных частях бассейна она изменяется в 2,5 и более раз. В бассейне р. Сюнь (приток Белой) плотность сети равна 0,30, а в бассейне р. Глухая Вильва (приток р. Язвья) – 0,81 км/км².

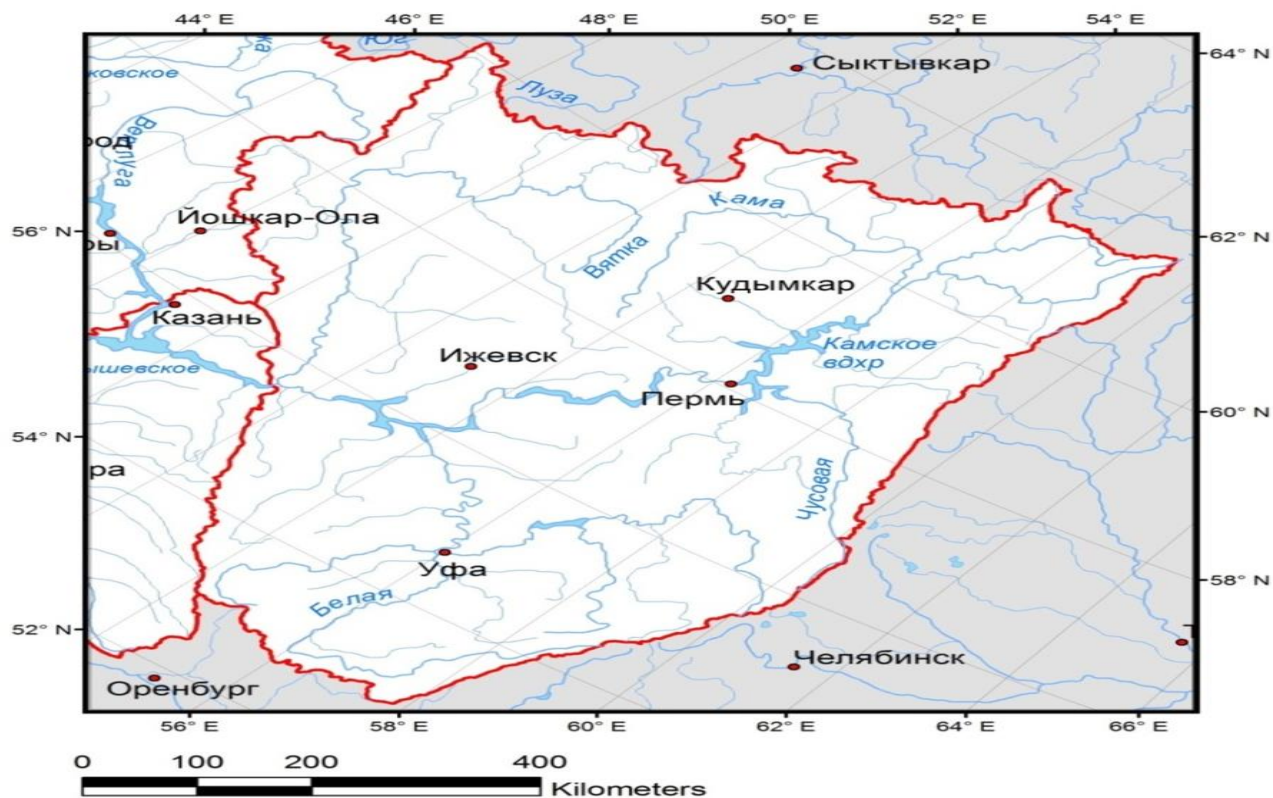


Рисунок 2.1 – Гидрографическая сеть бассейна Камы

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

№	Река	Впадает	Длина реки, км	Площадь бассейна, км ²	Густота речной сети, км/км ²
1	Кама	Куйбышевское вдхр. (р. Волга)	1805	507 000	0,50
2	Весляна	Кама	266	7490	0,50
3	Коса	Кама	267	10 300	0,46
4	Южная Кельтма ¹	Кама	172	5270	0,58
5	Тимшор	Южная Кельтма	235	2650	0,52
6	Пильва	Кама	214	2020	0,65
7	Вишера	Камское вдхр. (Вишерский залив)	415	31 200	0,64
8	Язьва ²	Вишера	162	5900	0,66
9	Глухая Вильва	Язьва	234	1740	0,81
10	Колва	Вишера	460	13 500	0,72
11	Березовая	Колва	208	3610	0,77
12	Яйва	Камское вдхр.	304	6250	0,63
13	Иньва	Камское вдхр. (Иньвинский залив)	257	5920	0,59
14	Косьва (Большая Косьва)	Камское вдхр. (Косьвинский залив)	283	6300	0,58
15	Обва (Правая Обва)	Камское вдхр. (Обвинский залив)	247	5620	0,72
16	Чусовая	Камское вдхр.	592	23 000	0,69
17	Усьва	Чусовая	266	6170	0,69
18	Сылва	Камское вдхр.	493	19 700	0,55
19	Барда	Сылва	209	1970	0,79
20	Ирень	Сылва	214	6110	0,45
21	Сива	Кама	206	4870	0,59
22	Буй	Кама	228	6530	0,54
23	Белая	Кама	1430	142 000	0,41
24	Нугуш	Белая	235	3820	0,64
25	Ашкадар ¹	Белая	165	3780	0,32
26	Зилим	Белая	215	3280	0,64
27	Сим	Белая	239	11 700	0,52
28	Инзер	Сим	307	5380	0,56
29	Уфа	Белая	918	53 100	0,42
30	Ай	Уфа	549	15 000	0,43
31	Юрюзань	Павловское вдхр. (р. Уфа)	404	7240	0,50
32	Дема	Белая	535	12 800	0,33
33	Быстрый Танып	Белая	345	7560	0,45
34	Сюнь	Белая	209	4500	0,30

Продолжение таблицы 2.1

№	Река	Впадает	Длина реки, км	Площадь бассейна, км ²	Густота речной сети, км/км ²
35	Иж	Кама	259	8510	0,42
36	Ик	Кама	571	18 000	0,35
37	Зай	протока Старая Кама (р. Кама)	219	5020	0,38
38	Вятка	Кама	1314	129 000	0,55
39	Кобра	Вятка	324	7810	0,65
40	Летка	Вятка	260	3680	0,66
41	Чепца	Вятка	501	20 400	0,62
42	Молома	Вятка	419	12 700	0,60
43	Пижма	Вятка	305	15 000	0,41
44	Кильмезь	Вятка	270	17 200	0,57

Примечание. 1 – реки Южная Кельтма, Язьва, Ашкадар имеют длину менее 200 км, однако в их бассейнах находятся реки, имеющие длину более 200 км.

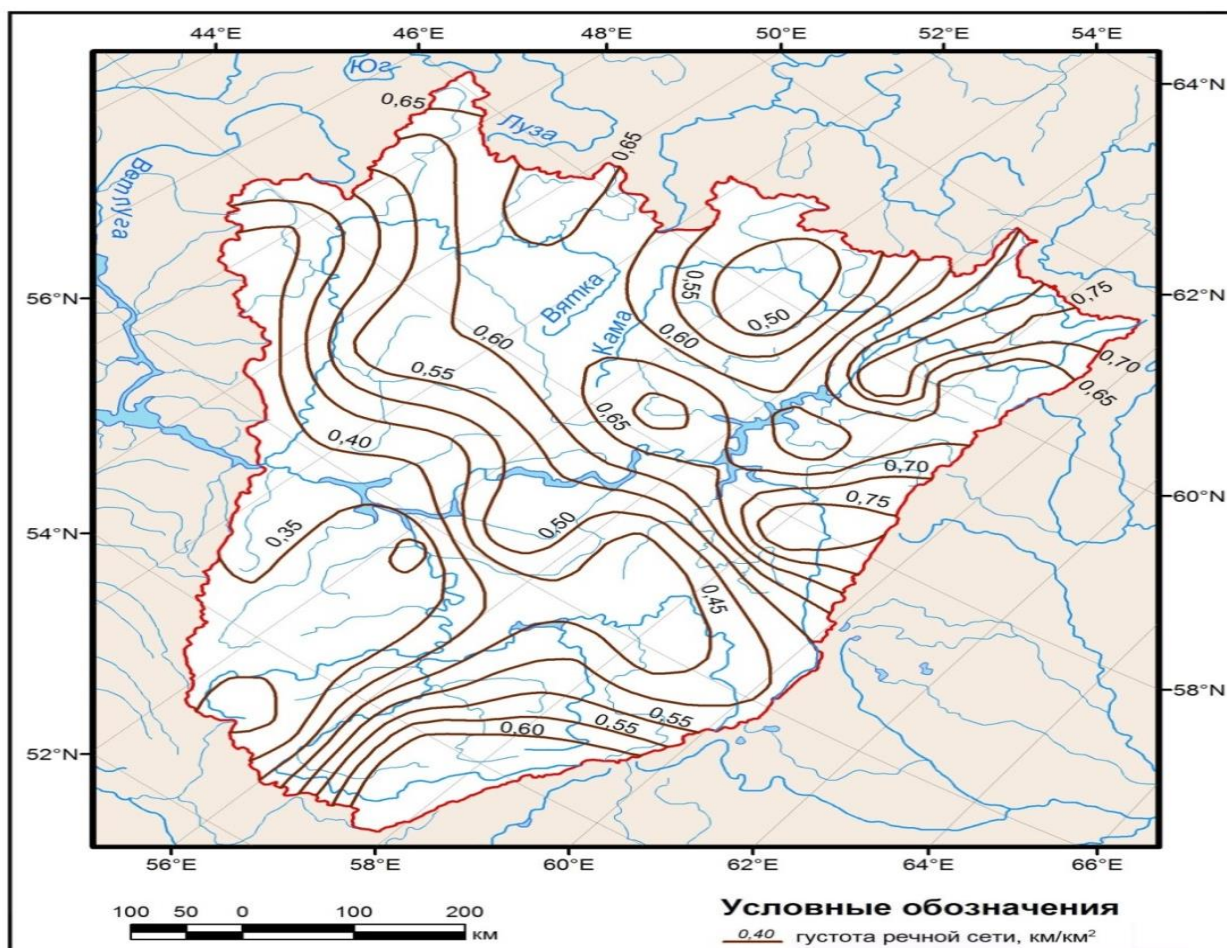


Рисунок 2.2 – Густота речной сети в бассейне Камы

Русловая сеть бассейна включает более 74 000 водотоков. Большинство из них – малые реки, имеющие длину менее 10 км. Лишь 4048 рек имеют длину 10 и более километров, а 42 – более 200 км (таблица 2.2). Абсолютное большинство рек региона являются малыми водотоками и имеют площадь бассейна менее 1000 км². Гидрологический режим таких водных объектов в существенной мере зависит от местных физико-географических и гидрогеологических условий [35–37]. Только для 73 рек площадь водосбора превышает 2000 км². Площадь их водосбора изменяется от 2000 до 50 000 км². Такие реки считаются средними, для них характерны зональные условия формирования стока [38, 39]. Суммарная площадь бассейнов притоков Камы с длиной более 200 км равна 432 тыс. км² (85 % общей площади бассейна реки). Больших рек ($F > 50\,000\text{ км}^2$) всего четыре: Кама, Белая, Вятка и Уфа.

В гидрографической сети бассейна Камы представлено более 10 000 озер разного генезиса. Они неравномерно распределены по площади бассейна (таблица 2.3). Средняя озерность бассейна равна 0,8 %. Наиболее крупное озеро региона – Чусовское ($F_{оз} = 19,4\text{ км}^2$, $V_{оз} \approx 0,03\text{ км}^3$) – исток р. Вишерка (бассейн р. Колва). По генезису большая часть озер относится к речному типу (пойменные озера), полезный объем – 20 км³.

Таблица 2.2 – Число водотоков разной длины в бассейнах основных рек региона

№	Водосбор реки	Число рек с длиной, км			
		<10	10–100	100–200	>200
1	Кама	69 917	3929	71	42
2	Весляна	1021	53	1	1
3	Коса	1223	82	1	1
4	Южная Кельтма	1034	40	0	1
5	Тимшор	470	17	0	1
6	Пильва	443	29	0	1
7	Вишера	7009	260	3	4
8	Глухая Вильва	585	15	0	1
9	Колва	3497	120	1	2
10	Березовая	1024	32	0	1
11	Яйва	1480	49	1	1
12	Иньва	998	57	1	1
13	Косьва	1160	64	0	1
14	Обва	1175	63	1	1
15	Чусовая	6080	201	6	2
16	Усьва	1802	54	2	1
17	Сылва Россоха	3758	149	3	3
18	Барда	734	38	0	1
19	Ирень	736	17	0	1
20	Сива	902	37	0	1
21	Буй	812	0	0	1
22	Белая	11 704	961	17	12
23	Нугуш	702	32	0	1
24	Зилим	580	45	0	1
25	Сим	1473	88	1	2
26	Инзер	775	40	0	1
27	Уфа	4776	370	8	3
28	Ай	1426	108	2	1
29	Юрюзань	856	51	1	1
30	Дема	580	87	0	1
31	Быстрый Танып	621	64	0	1
32	Сюнь	185	19	0	1
33	Иж (Большой Иж)	751	73	1	1
34	Ик (Большой Ик)	1170	134	2	1
35	Зай (Степной Зай)	387	68	0	1
36	Вятка	19 126	1070	23	7
37	Кобра	1565	73	1	1
38	Летка	659	34	0	1
39	Чепца	3877	158	6	1
40	Молома	2172	113	1	1
41	Пижма	1130	116	2	1
42	Кильмезь	2224	132	5	1

Таблица 2.3 – Распределение озер по бассейнам основных рек региона

№	Река	Площадь бассейна, км ²	Число озер в бассейне	Суммарная площадь акватории, км ²	Озерность, %
1	Кама	507 000	10 539	3947	0,78
2	Кильмезь	17 200	584	26,9	0,16
3	Сылва Россоха	19 700	156	12,1	0,06
4	Сим	11 700	105	10,2	0,09

5	Летка	3680	32	1,03	0,03
6	Иж (Большой Иж)	8510	13	0,43	0,01
7	Уфа	53 100	585	218	0,41
8	Инзер	5380	25	4,66	0,09
9	Глухая Вильва	1740	6	0,34	0,02
10	Буй	6530	19	0,97	0,01
11	Барда	1970	3	0,2	0,01
12	Колва	13 500	81	30	0,22
13	Дема	12 800	415	37,4	0,29
14	Ай	15 000	177	31,7	0,21
15	Молома	12 700	115	3,6	0,03
16	Вишера	31 200	168	45,9	0,15
17	Язьва	5900	24	6,51	0,11
18	Чусовая	23 000	58	51,8	0,23
19	Березовая (Северная Рассоха)	3610	0	0	0
20	Обва (Правая Обва)	5620	15	3,87	0,07
21	Коса	10 300	35	3,16	0,03
22	Пижма	15 000	705	22,2	0,15
23	Белая	142 000	2720	428	0,30
24	Сива	4870	25	18,8	0,39
25	Сюнь	4500	55	0,81	0,02
26	Ашкадар	3780	47	1,33	0,04
27	Усьва	6170	3	0,08	0,00
28	Пильва	2020	4	0,32	0,02
29	Кобра	7810	6	2,77	0,04
30	Зилим	3280	21	0,82	0,03
31	Тимшор	2650	13	2,36	0,09
32	Косьва (Большая Косьва)	6300	3	0,08	<0,01
33	Иньва	5920	9	7,5	0,13
34	Зай (Степной Зай)	5020	118	1,19	0,02
35	Ик (Большой Ик)	18 000	550	10,3	0,06
36	Чепца	20 400	504	26,6	0,13
37	Южная Кельтма	5270	32	3,53	0,07
38	Вятка	129 000	4137	192	0,15
39	Ирень	6110	68	2,78	0,05
40	Нугуш	3820	8	1,11	0,03
41	Быстрый Танып	7560	218	9,48	0,13
42	Яйва	6250	12	3,52	0,06
43	Юрюзань	7240	24	7,39	0,10
44	Весляна	7490	9	0,39	0,01

Суммарная площадь зеркала немного превышает 6 тыс. км². Удельный вес региона в суммарном объеме водохранилищ бассейна Камы по площади зеркала составляет около 20 %. Основная масса водохранилищ бассейна Камы – малые, объемом от 1 до 10 млн м³. Их суммарный объем составляет всего 1 % общего объема водохранилищ бассейна. В четырех крупнейших (объем более 1 км³) водохранилищах (Нижнекамском, Камском, Воткинском и Павловском) сосредоточено 95 % суммарного объема водохранилищ бассейна Камы. Основные сведения о

водохранилища бассейна Камы представлены в таблице 2.4. На территории бассейна Камы расположено около 180 водохранилищ, полный объем которых равен почти 40 км³

Болота – один из элементов гидрографической сети бассейна Камы. Этот тип водных объектов влияет на естественную зарегулированность стока рек региона и качество речных вод. Средняя заболоченность бассейна Камы составляет 1,7 %. Болота неравномерно распределены по территории бассейна (рисунок 2.4). Наибольшее количество болот находится на севере бассейна, где условия увлажнения и рельеф способствуют заболачиванию местности. К югу число болот заметно сокращается.

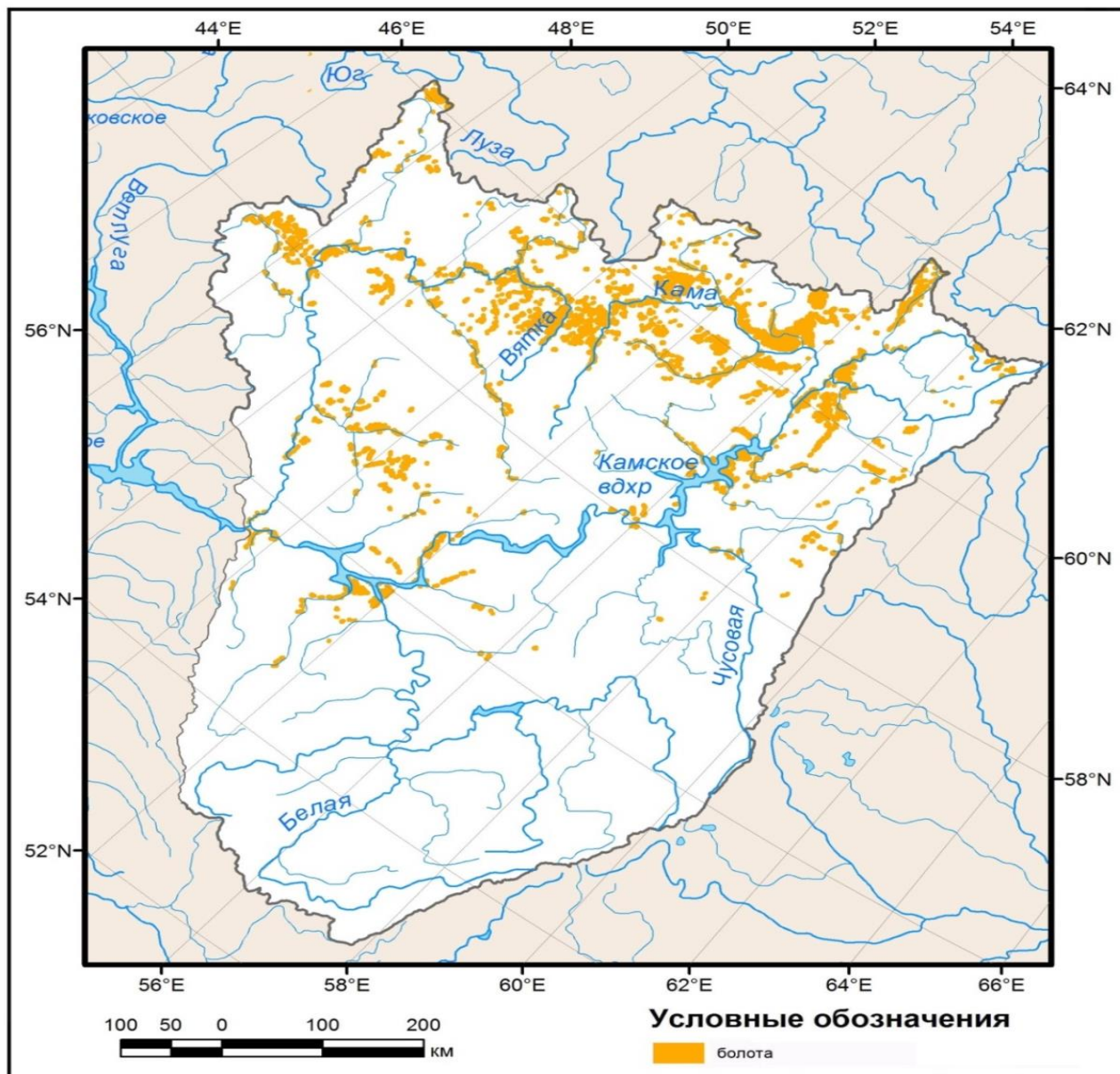


Рисунок 2.4 – Распространение болот в пределах Камского бассейна

Таблица 2.4 – Основные сведения о водохранилищах в бассейне Камы [40]

№ п/п	Водохранилище	Река	Год создания/ реконструкции	Объем полный, млн м	Объем полезный, млн м	Площадь при НПУ, км ²	Площадь при УМО, км ²	Уровень при НПУ, м. абс.	Уровень при УМО, м. абс.	Уровень при ФПУ, м. абс.	Глубина макс., м	Длина, км	Ширина макс., км
Водохранилища Кировской области													
1	Белохолунинское	Белая Холуница	1764/1964	51	41,3	17,4	7,65	140,85	137,7	141,1	11	20	3
2	Большое Кирсинское	Кирс	1729/1951	18	15,8	6	0,8	157,4	151,8	нс	5	7,5	1,3
3	Омутнинское	Омутная	1773/1953	32,5	17,9	9,5	6,1	184	181,7	184,8	10	10	1,1
4	Созимское	М. Созим	1939/1967	11,3	5,8	5,7	0,6	158	153,8	нет	5,2	6,2	1,2
5	Чернохолунинское	Черная Холуница	1810	12	8	4	2	176,1	172,1	нс	8,6	5,5	0,8
Водохранилища Пермского края													
6	Верхнезырянское	Зырянка	1969	13	10	4,2	2,2	124	121	124,6	7,1	7	1
7	Воткинское	Кама	1964	9360	3700	1120	800	89	85	90	28	365	10
8	Камское	Кама	1956	12 205	9235	1915	650	108,5	101	110,2	30	300	35
9	Лысьвенское	Лысьва	1772/1963	26,6	15,7	5,74	3,44	151,5	148	152	8	5,25	1,4
10	Нижнезырянское	Зырянка	1953	12,3	10,1	4,4	2,04	115,5	112,5	116,1	4,6	4	1,5
11	Нытвенское	Нытва	1756/1956	28,6	18,9	8,9	5	101,5	98,8	нс	10,6	11	1,6
12	Очерское	Очер	1770	18,7	14,5	4,98	2,61	132,1	128,5	132,5	8,8	7	1,2
13	Широковское	Косьва	1948	526	363	40,8	21,7	206	194,5	208,3	36	32,5	5
14	Чермозский пруд	Чермоз	1765/2010	81,9	нс	24,65	нс	108,5	100,5	108,8	10,7	11,04	3,166
Водохранилища Свердловской области													
15	Михайловское	Серга	1810/1963	29,6	26,1	8,4	2,82	257,5	253	258,3	9	10	1,5
16	Нижнесергинское	Серга	1764/1985	13,6	8,9	3,6	2,1	311,5	308,7	312,1	8,5	6,5	0,8
17	Новомаринское	Ревда	1968	101	96,5	13,2	1,5	331	316	331,1	23	11,5	3
18	Ревдинское	Ревда	1731/1962	24,9	13,5	5,6	4	302,8	300	303,7	5,8	11	0,6
19	Староуткинское	Утка	1727/1967	19	15,3	5,1	1,9	259,2	254,6	259,6	9,5	7,6	1,2
20	Волчихинское	Чусовая	1944	101	82,3	37	0,6	297,6	296,5	нс	12,5	15	5,2
21	Верхнемакаровское	Чусовая	1973	70	нс	17,6	нс	317		нс	11	20	2,5
22	Аргинское	Артя	1783/1927	18	12	3	нс	198,5	188,5	199,2	10	5,8	1
23	Бисертское	Бисерть	1761/1956	10	6	5,6	нс	230,4	226,9	нс	7	5	1,5
Водохранилища Челябинской области													
24	Нязепетровское	Уфа	1978	153	138	19,5	4,6	310,5	298	нет	22	38,6	1,14
25	Саткинское	Б. и М. Сатка	1760/1928	17	10	3,7	2,2	402,8	396,3		8	5,3	1,3
26	Нижнеуфалейское	Уфалей	1818/1957	33,5	32,1	10,5	нс	336,5	330	337	10,5	6,5	2,3

Продолжение таблицы 2.4

№ п/п	Водохранилище	Река	Год создания/ реконструкции	Объем полный, млн м	Объем полезный, млн м	Площадь при НПУ, км ²	Площадь при УМО, км ²	Уровень при НПУ, м. абс.	Уровень при УМО, м. абс.	Уровень при ФПУ, м. абс.	Глубина макс., м	Длина, км	Ширина макс., км
Водохранилища Удмуртии													
27	Воткинский пруд	Вотка	1759/1947	85	53	21,8	11,2	90,4	87,1	91,2	11	18	2
28	Ижевское	Иж	1760/1959	76	44,9	26,4	15,5	99,5	97,3	99,75	12	12	2,5
29	Камбарское	Камбарка	1767	12,5	5,1	2,2	нс	75	69,3	76	7	6	0,8
Водохранилища Башкортостана													
30	Кармановское	Буй	1968	134	19,6	35,5	32,7	80	79,5	80,7	12,8	15	3,5
31	Нугушское	Нугуш	1967	400	356	25,2	12	217	199,6	217,7	28	25	5
32	Павловское	Уфа	1961	1411	952	115,9	57,9	140	128,5	142	35	150	1,75
33	Юмагузинское	Белая	2004	809	300	35,6	нс	253	225	270	63	57	нс
Водохранилища Татарстана													
34	Заинское	Степной Зай	1962	63	34,8	20,45	12	73	70,775	74,12	9	12	2,5
35	Карабашское	Бугуль- минский Зай	1958	52,4	51,14	7,3	0,95	140	125,8	140,87	20,4	8,7	1,1
36	Нижнекамское	Кама	1982	2900	0	1080	нс	62	61	64	20	185	20

Антропогенная нагрузка на водные объекты. В бассейне Камы проживают 11 988,0 тыс. чел., из которых городское население составляет 70 %, сельское – 30 %. Средняя плотность населения в бассейне Камы равна 24 чел/км². Наибольшая нагрузка характерна для Республики Татарстан (более 60 чел/км²), а наименьшая – для Республики Коми, Нижегородской и Оренбургской областей (менее 5 чел/км²).

Площадь селитебных территорий максимальна в Татарстане и в Самарской области (около 2 %); она минимальна в Республики Коми, Вологодской и Кировской областях. Более 50 % распаханых земель находится в Самарской области и в Республике Татарстан. Площадь пахотных земель достигает минимума в Республике Коми, Свердловской и Вологодской областей.

Все крупные водохранилища бассейна Камы (с объемом 100–1000 млн м³) используются комплексно (в интересах гидроэнергетики, водного транспорта и т. п.). Малые и небольшие водохранилища служат преимущественно для водоснабжения, орошения, промышленного водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации. Из малых водохранилищ в верховьях рек Чусовая и Уфа сток воды перераспределяется на восточный склон Уральских гор для питьевого водоснабжения крупных городов. Водоохранилища занимают немногим больше 1 % площади бассейна Камы. Гидрологический режим водохранилищ бассейна Камы в соответствии с их назначением достаточно разнообразен. Большинство водохранилищ осуществляют исключительно сезонное (иногда даже неполное) регулирование речного стока. Только 5 % водохранилищ (преимущественно небольших) осуществляют многолетнее регулирование речного стока.

Максимальные объемы воды в бассейне Камы изымаются в Пермском крае, для нужд теплоэнергетики [41]. Наиболее водоемкой отраслью экономики в бассейне Камы является промышленность. Значительные потребности в воде объясняются значительным удельным весом предприятий теплоэнергетики, лесной и химической промышленности в структуре промышленности. В структуре водопотребления бассейна около 20 % приходится на долю жилищно-коммунального хозяйства. Износ основных средств водопроводно-канализационного хозяйства колеблется от 50 до 70 %. Утечки и неучтенные расходы воды при транспортировке воды к потребителям могут превышать 30 % от объема воды в водопроводной сети.

В поверхностные воды бассейна Камы сбрасывается более 4 км³ или около 25 % объема сточных вод Волжского бассейна. Более 30 % сточных вод относится к категории «загрязненные», что негативно влияет на качество речных вод.

2.2 Гидрологическая изученность

Бассейн Камы разделен на следующие подбассейны:

- река Кама и реки ее бассейна до р. Чусовая;
- реки бассейна р. Чусовая и Чусовского залива Камского водохранилища;

- реки бассейна р. Кама от Камского водохранилища до р. Белая;
- бассейн р. Белая
- реки бассейна р. Кама между р. Белая и р. Вятка;
- бассейн р. Вятка.

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 в таблице 2.5 и на рисунке 2.5.

На рассматриваемой территории по бассейну реки Камы имеется 73 733 водотока, общей длиной 247 972 км. Основная доля речной сети приходится на самые малые реки (менее 25 км), количество которых составляет 99 % от общего числа и длина 75 % суммарной длины всех водотоков (рисунок 2.6).

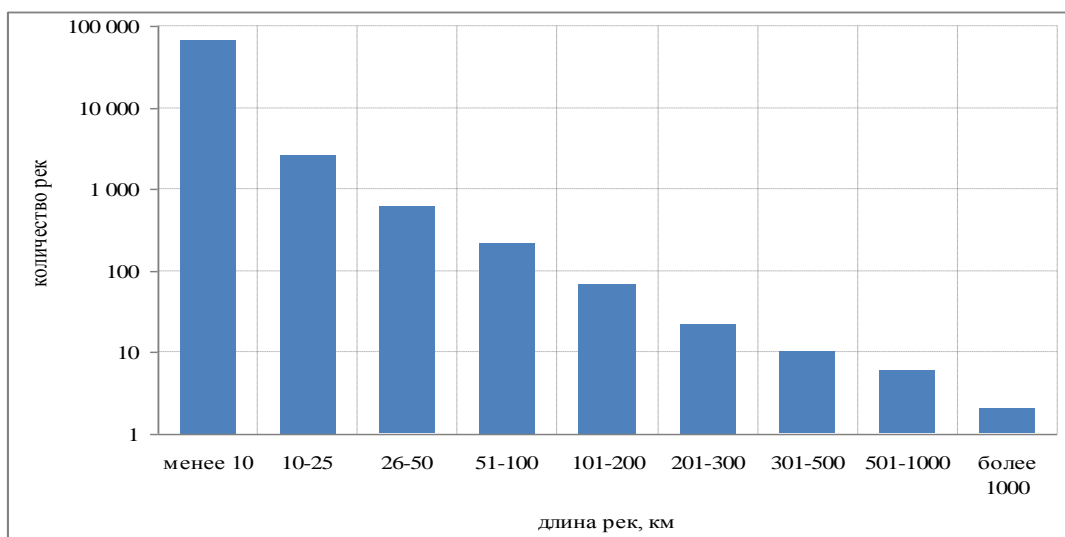


Рисунок 2.5 – Количество водотоков по градациям длины рек (км) в бассейне Камы

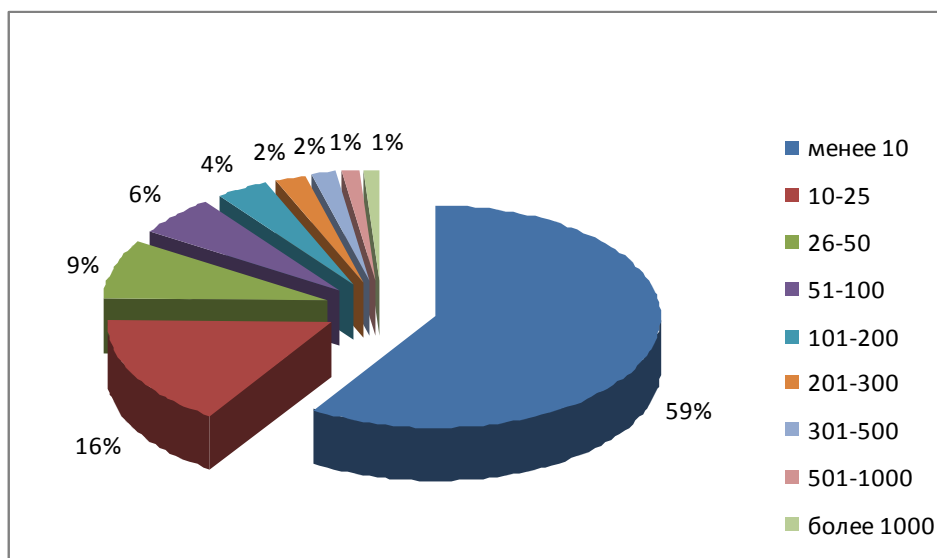


Рисунок 2.6 – Количество водотоков по градациям длины рек (км) в бассейне Камы

Таблица 2.5 – Распределение водотоков по градациям их длины рек бассейна Камы

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
р. Кама и реки ее бассейна до р. Чусовая					
Самые малые	менее 10	20 831	39 357	96	62
	10–25	622	9357	3	15
Малые	26–50	134	4600	1	7
	51–100	74	4942	0,34	8
Средние	101–200	15	2078	0,07	3
	201–300	9	2211	0,04	3
	301–500	3	1179	0,01	2
	Всего	21 688	63 724	100	100
Реки бассейна р. Чусовая и Чусовского залива Камского водохранилища					
Самые малые	менее 10	10 400	18 110	97	64
	10–25	265	3998	2	14
Малые	26–50	58	2094	1	7
	51–100	12	823	0,11	3
Средние	101–200	9	1297	0,08	5
	201–300	3	689	0,03	2
	301–500	1	493	0,01	2
Большие	501–1000	1	592	0,01	2
	Всего	10 749	28 096	100	100
Реки бассейна р. Кама от Камского водохранилища до р. Белая					
Самые малые	менее 10	4100	8901	94	57
	10–25	186	2863	4	18
Малые	26–50	40	1492	1	10
	51–100	15	1650	0,35	11
Средние	101–200	2	269	0,05	2
	201–300	2	434	0,05	3
	Всего	4345	15 609	100	100
Бассейн р. Белая					
Самые малые	менее 10	11 818	30 187	93	53
	10–25	665	10 058	5	18
Малые	26–50	156	5475	1	10
	51–100	58	3922	0,46	7
Средние	101–200	17	2 341	0,13	4
	201–300	4	898	0,03	2
	301–500	3	1056	0,02	2
Большие	501–1000	3	2002	0,02	3
	более 1000	1	1430	0,01	2
	Всего	12 725	57 369	100	100
Реки бассейна р. Кама между р. Белая и р. Вятка					
Самые малые	менее 10	2626	6568	92	51
	10–25	187	2765	7	21
Малые	26–50	34	1173	1	9
	51–100	14	848	0,49	7
Средние	101–200	4	535	0,14	4
	201–300	2	478	0,07	4
Большие	501–1000	1	571	0,03	4
Бассейн р. Вятка					
Самые малые	менее 10	19 182	41 784	95	61
	10–25	731	10 981	4	16
Малые	26–50	190	6525	1	9
	51–100	49	3402	0,243	5
Средние	101–200	21	2959	0,104	4
	201–300	2	530	0,010	1
	301–500	3	1048	0,015	2
Большие	501–1000	1	501	0,005	1
	более 1000	1	1314	0,005	2

Продолжение таблицы 2.5

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
Всего по бассейну р. Кама					
Самые малые	менее 10	70 116	146 712	95	59
	10-25	2671	39 209	4	16
Малые	26-50	614	21 459	1	9
	51-100	223	15 687	0,302	6
Средние	101-200	68	9479	0,092	4
	201-300	22	5240	0,030	2
	301-500	10	3776	0,014	2
Большие	501-1000	6	3666	0,008	1
	более 1000	3	2744	0,004	1
Всего		73 733	247 972	100	100

Наблюдения за уровнем и расходами воды на реках бассейна Камы были начаты в 1876 г. Всего в бассейне работало 659 постов, из них 196 относятся к дополнительной сети (ведомственная сеть), период наблюдений по которым колеблется от 1 года до 134 лет. Список всех постов работающих в рассматриваемом бассейне представлен в Приложении А.2.

На рисунке 2.7 представлены данные по количеству гидрологических постов, работавших в 1900–2010 гг. Как следует из этих данных, в 1930-х гг. в бассейнах рек работало 143 поста. В послевоенное время сеть была восстановлена, и в бассейне уже работало 236 постов. Максимальное количество постов (251) действовало в 1960-х гг. Затем сеть стала сокращаться, особенно существенно в конце 1990-х гг., в 2010 г. работало 169 постов.

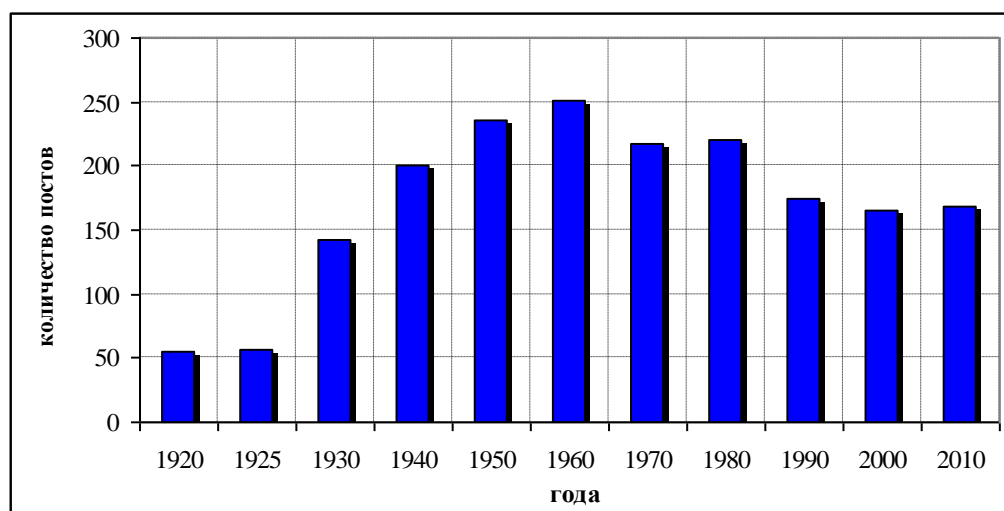


Рисунок 2.7 – Количество гидрологических постов, работавших в 1920–2010 гг.

Количество постов с продолжительностью наблюдений менее 30 лет составляет около 40 %, а с продолжительностью наблюдений более 50 лет примерно 22 % от их общего количества. Восемь постов имеют продолжительность наблюдений более 120 лет (рисунок 2.8).

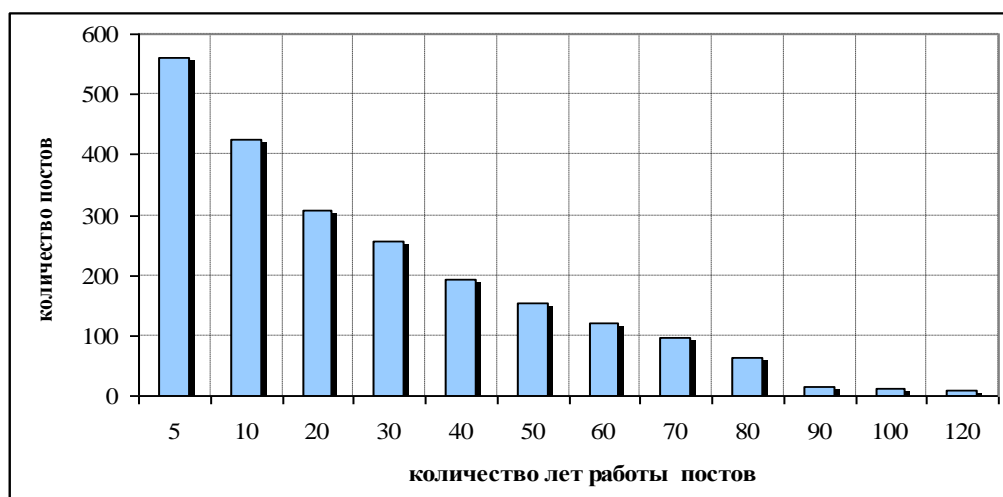


Рисунок 2.8 – Количество гидрологических постов с различным периодом наблюдений

Распределение гидрологических створов по величине площадей водосборов представлено в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Распределение гидрологических створов по величине площадей водосборов в бассейне Камы

Характеристика	Площадь водосбора, км ²							Всего
	<10	11–100	101–200	201–500	501–1000	1001–20000	>200000	
Число постов	15	51	28	57	69	304	132	656
%	2	8	4	9	11	46	20	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 OpenStreetMaps (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, PROTOTYPEGLOBALSHORELINES (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 : 200 000. Определение лесистости водосборов проводилось на основе карты Glob Cover Land Cover Map. Результаты определения лесистости по данным Glob Cover после сравнения с результатами расчетов по спутниковым снимкам Land SAT 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 Land SAT, Orb View и др. Тематическое дешифрование снимков осуществлялось полуавтоматически, с ручным контролем результата.

Сведения о физико-географических характеристиках бассейна Камы 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 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 основных 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 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)

В результате выполненных исследований [42–47] установлено, что со второй половины 1970-х годов прошлого века в бассейне Камы 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 за 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 Камы наблюдается неоднородность стоковых рядов, связанная с влиянием климатических факторов, в частности с повышением температуры воздуха [42]. Происходит внутригодовое перераспределение стока - увеличивается минимальный сток за летний и зимний периоды и уменьшаются максимальные расходы весеннего половодья.

Оценка расчетных характеристик 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 [48, 49], 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 недостаточностью 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 [48], 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 [48] 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 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 Приложений А.

3.5 Технологическое обеспечение инженерных гидрологических расчетов на основе современной автоматизированной системы

Расчеты по определению параметров основных гидрологических характеристик по многолетним рядам в пунктах гидрометрических наблюдений проведены 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 к 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 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 внутри сезонное 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 Волги позволил установить, что начиная со второй половины 1970-х – начала 1980-х гг. очень 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 четырем 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 и 1978–2010 гг., учитывая, что на большинстве рек рассматриваемого бассейна резкие изменения в динамике месячного стока произошли с конца 1970-х гг. 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 с площадями водосборов, приведенных в справочниках, составила 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 [50, 51]), 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, 52–54].

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 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 [52].

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 близких по условиям формирования речного стока 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. Практически приемлемыми 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

Бассейн реки Камы характеризуется разнообразием климатических условий в связи с большой протяженностью территории. В соответствии с изменением климатических условий наблюдается широтная зональность изменения годового стока, на которую накладывается и вертикальная поясность, связанная с горными районами Урала, где выпадает значительное по сравнению с равнинной территорией количество осадков. Следовательно, и годовой сток в этих районах выше. Большая расчлененность рельефа вносит пестроту в распределение годового стока по территории.

Реки рассматриваемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной зимней меженью в северных районах бассейна и наличием в южных районах продолжительной летней межени без дождей. В питании рек преимущественное значение имеют снеговые воды. Доля талых вод в суммарном стоке рек достигает около 90 % в южных лесостепных районах, значительно меньше (60–65 %) она в пределах возвышенных частей горного Урала, где наряду с твердыми осадками в питании рек велика роль дождей. Примерно 25–30 % годового стока формируется подземным путем. Наибольшие значения подземной составляющей годового стока наблюдаются у карстовых водотоков, а также у рек, бассейны которых сложены песчаными грунтами. Таким образом, годовой сток рек региона изменяется под влиянием климатических условий, факторов подстилающей поверхности.

Годовой сток является интегральной характеристикой речного стока и позволяет судить о водных ресурсах речных бассейнов и отдельных регионов.

4.2 Исходные данные

Исходными материалами для анализа характеристик годового стока рек бассейна Камы послужили ежегодные данные по 241 постам, в том числе и закрытым в настоящее время.

Площади водосборов бассейнов рек, использованных в расчетах и обобщении расчетных параметров, изменяются от 1,99 км² – руч. Ключи – д. Большой Перелаз до 124 000 км² – пост р. Вятка – г. Вятские Поляны. Количество используемых для обобщения данных по годовому стоку различно по пунктам наблюдений за различные периоды. Средняя продолжительность наблюдений за годовым стоком составляет 37 лет, самый продолжительный ряд наблюдений 132 года (р. Белая – г. Уфа – с 1878 г. по настоящее время). Период наблюдений по 23 постам имеют продолжительность менее 6 лет. Периоды наблюдений за годовым стоком рек бассейна Камы представлены в Приложении А.1.

Анализ исходной информации по годовому стоку показал, что максимальные годовые расходы воды на реках наблюдались в 1926, 1938, 1941, 1975, 1979, 1990, 1991, 2001 гг. Большинство случаев экстремально низкого годового стока на реках бассейна наблюдалось в середине 30-х и в первой половине 70-х годов. В Приложении А.3. по каждому гидрологическому посту приводятся следующие данные: период и число лет наблюдений, характерные значения годового стока за период наблюдений, средние многолетние расходы воды, максимальный и минимальный расход в наблюдаемом ряду и год, в котором он наблюдался.

Исходные ряды наблюдений по годовому стоку были приведены к многолетнему периоду, согласно методике, изложенной в [4–6]. В результате приведения продолжительность рядов годового стока увеличилась в среднем на 66 лет.

4.3 Однородность и стационарность

Анализ годовых расходов воды рек бассейна Камы показал, что многолетние колебания годового стока рек имеют циклический характер, выражающийся в чередовании групп маловодных и многоводных лет. 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 Камы практически однороден, что подтверждается графиками, представленными в качестве примера на рисунке 4.1.

Неоднородны по критериям Стьюдента и по Фишера примерно 7 % наблюдений по рассматриваемым рядам годового стока. Неоднородность характерна для рек с малыми площадями водосбора.

4.4 Расчетные параметры распределения

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

Расчетные параметры (среднее многолетнее значение, коэффициенты вариации, автокорреляции и соотношения коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации), а также значения годового стока заданной вероятности превышения от 1 до 99 %, определенные по рядам, приведенным к многолетнему периоду, представлены в Приложении А.3. В таблице также представлены среднеквадратические погрешности расчетных параметров и расчетных значений стока заданных обеспеченностей.

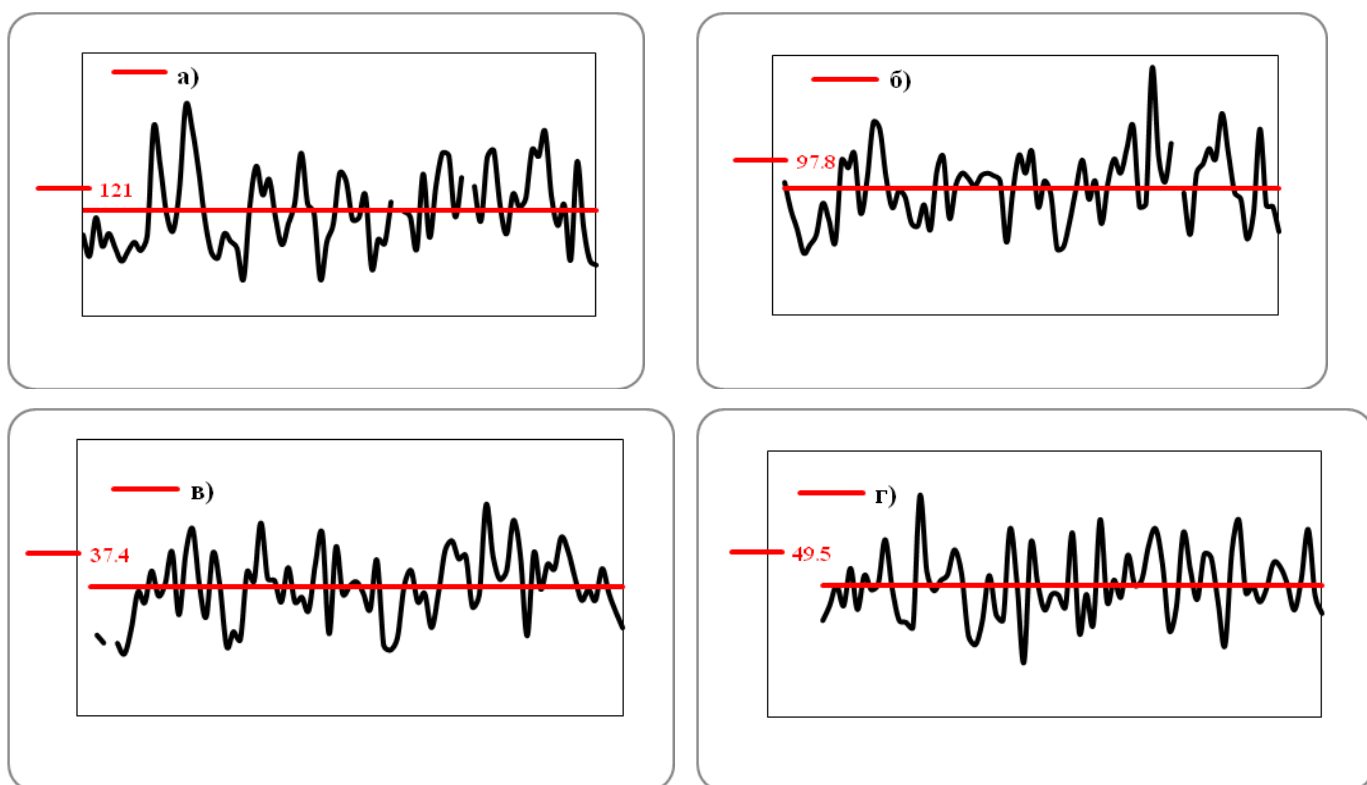


Рисунок 4.1 – Многолетние колебания годовых расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$)
 Горизонтальной линией (красный цвет) показано среднее значение за период наблюдений,
 а) р. Белая – г. Стерлитамак ($F = 21\,000 \text{ км}^2$), б) р. Уфа – г. Красноуфимск ($F = 14\,200 \text{ км}^2$),
 в) р. Чепца – с. Полом ($F = 5930 \text{ км}^2$); г) р. Молома – д. Пермятская ($F = 6070 \text{ км}^2$)

Среднемноголетние значения модулей годового стока, рассчитанные по рядам, приведенным к многолетнему периоду, изменяются от 2 до 20 л/сек км^2 . Средняя квадратическая относительная погрешность расчетов годового стока изменяется в пределах от 2 до 14 %, в среднем погрешность составляет 5 %.

Коэффициенты вариации (C_v) годового стока изменяются в пределах 0,20–0,30. Средние квадратические относительные погрешности расчетов коэффициента вариации находится в пределах от 3 до 30 %, в среднем погрешность 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 0,65. Для большинства створов коэффициент автокорреляции составил 0,25–0,45.

4.5 Карты расчетных параметров

На основании полученных расчетных характеристик 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, изложенной в разделе 3.7.

Для построения карты среднееголетнего 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.

Среднееголетние значения модулей годового стока по данным, приведенным к многолетнему периоду, изменяются для рек данного бассейна от 2 до 25 л/сек км².

Уральские горы создают большие различия в водности рек Приуралья. В бассейне Камы большой водностью отличаются левые притоки Вишера, Яйва, Косьва, где средний многолетний модуль годового стока меняется от 15 до 25 л/сек км². В пределах равнинной территории Приуралья сток изменяется от 4 л/сек км² на юге до 10 л/сек км² на севере.

Карта распределение среднего годового стока рек бассейна Камы представлена на рисунке 4.2.

Коэффициент вариации (C_v) годового стока изменяется в пределах 0,2–0,4. Карта распределения коэффициента вариации (C_v) представлена на рисунке 4.3.

Как показал анализ полученных данных по соотношению коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации (C_s/C_v) наилучшее соответствие теоретических кривых эмпирическим точкам для большинства пунктов достигается при соотношении $C_s/C_v = 1,0–2,5$ (рисунок 4.4).

Приведенные карты параметров годового стока (среднееголетнего модуля стока, коэффициента вариации, отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации) уточняют ранее опубликованные карты этих параметров в [2, 3] в связи с привлечением для расчетов данных наблюдений за последние годы (1975–2010 гг.).

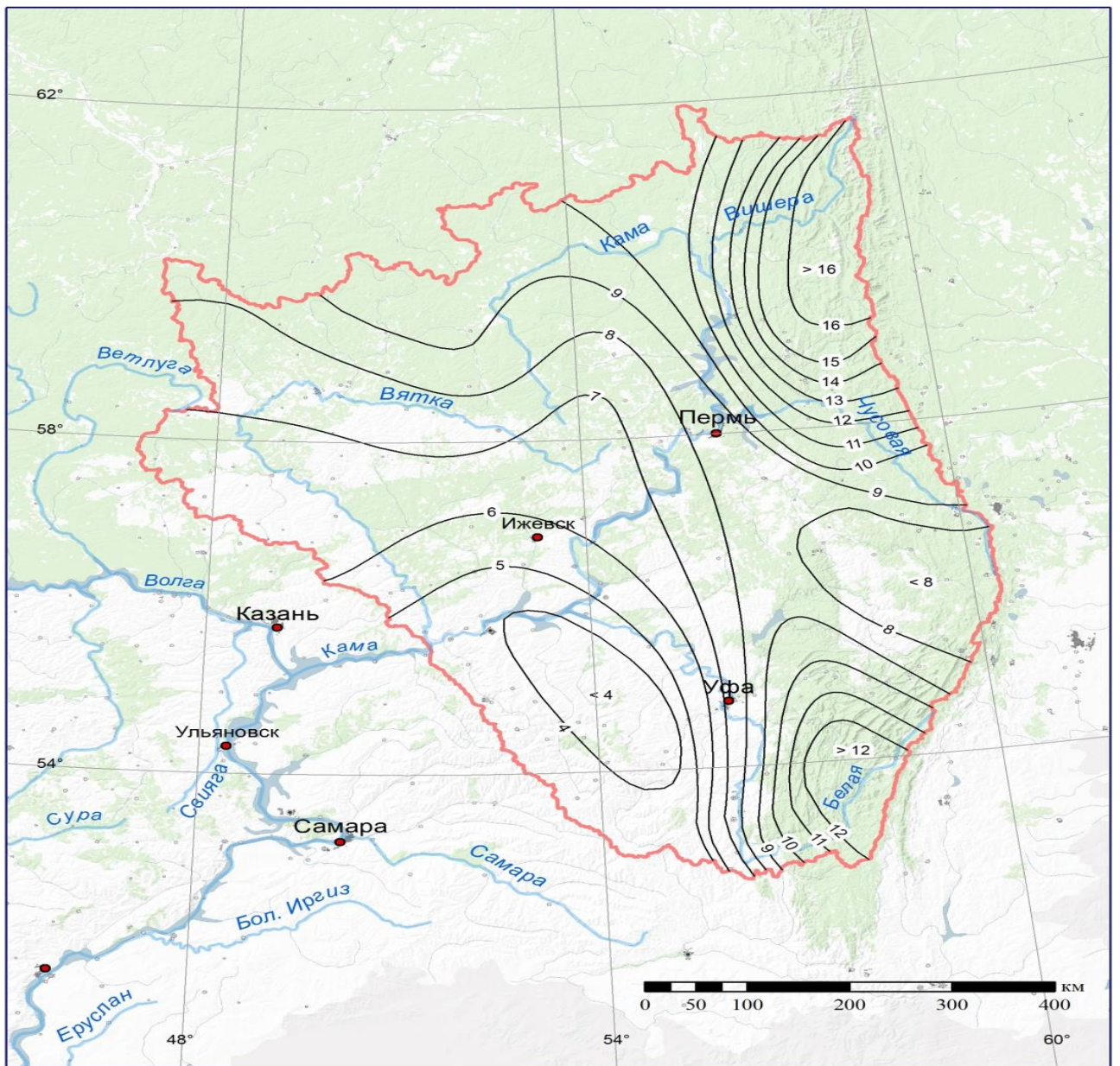


Рисунок 4.2 – Средние многолетние значения годового стока рек бассейна Камы, л/сек км²

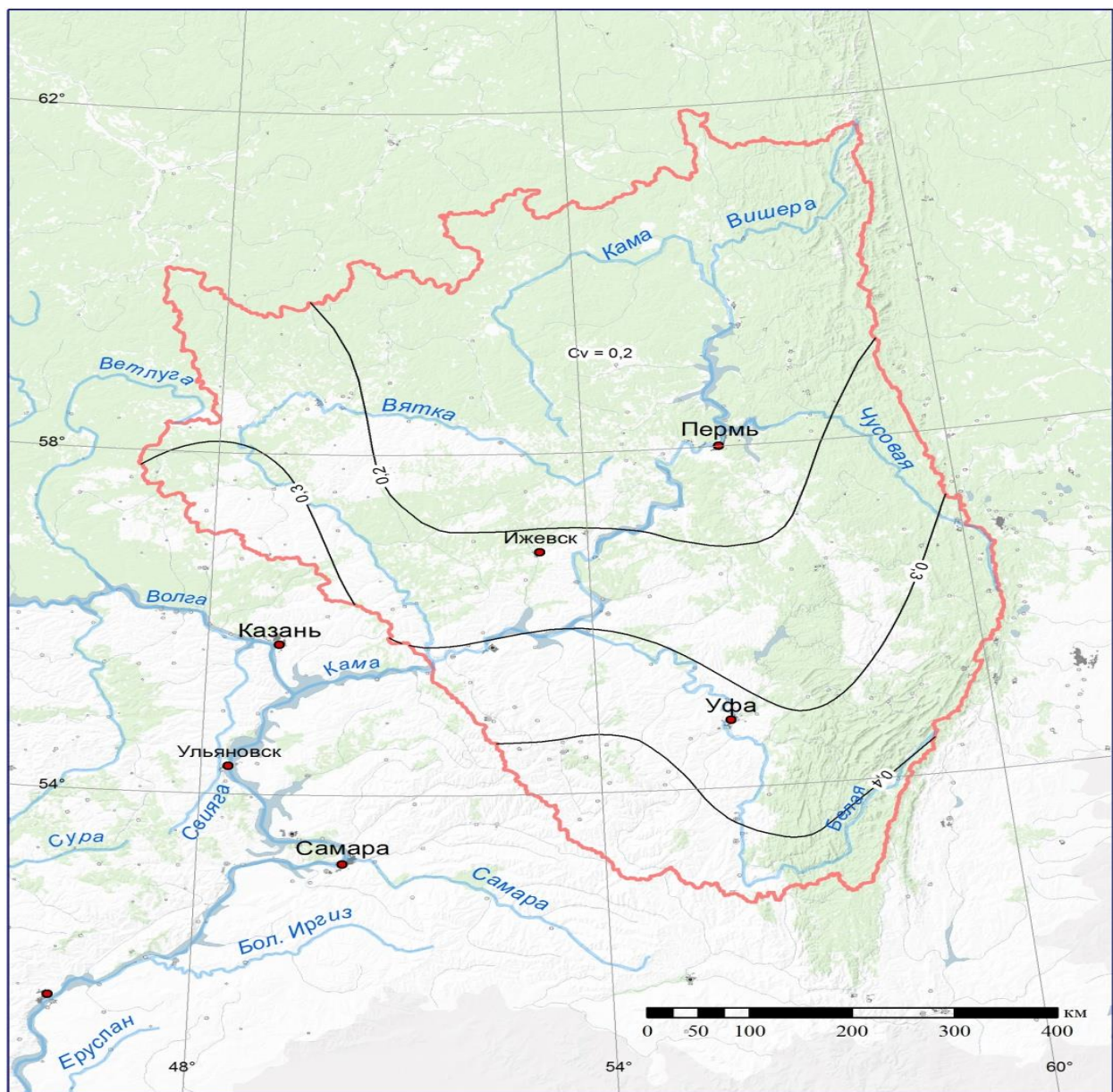


Рисунок 4.3 – Коэффициенты вариации годового стока рек бассейна Камы

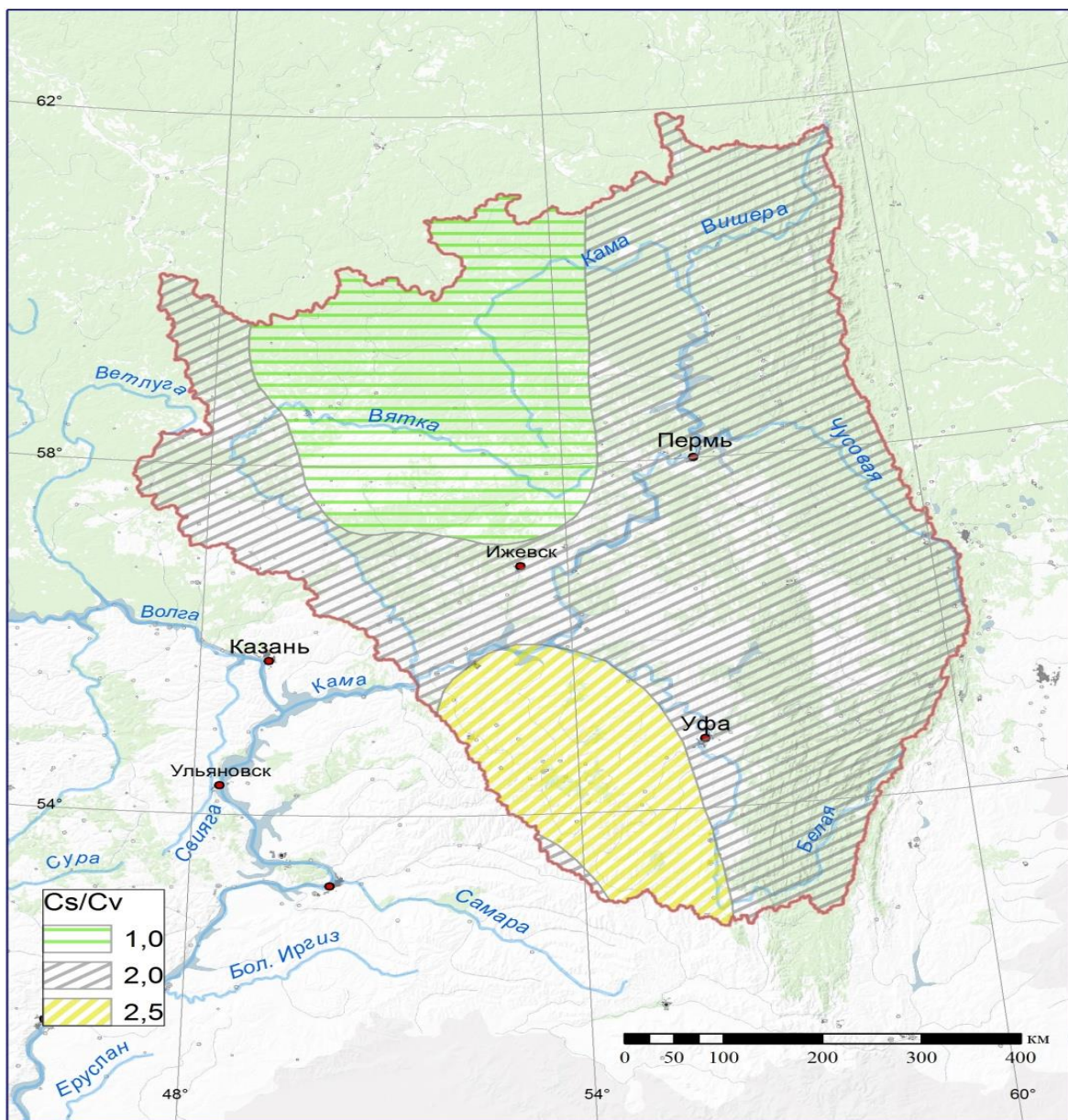


Рисунок 4.4 – Районирование по соотношению C_s/C_v годового стока рек бассейна Камы

5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БАСЕЙНА КАМЫ

Оценка границ гидрологических сезонов и расчеты внутригодичного распределения стока производилась по данным наблюдений на 68 гидрологических постах. Сроки гидрологических сезонов для рек бассейна Камы представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сроки гидрологических сезонов для рек бассейна Камы

Бассейн	Сезон		
	Весна	Лето-осень	Зима
Кама	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 [4–6].

Гидрологические расчеты проведены с использованием сертифицированной системы инженерно-гидрологических расчетов «Гидрорасчеты», представляющей комплекс основных вычислительных программ, разработанных в ФГБУ «ГГИ».

5.1 Основные факторы внутригодичного распределения стока

Внутригодичное распределение стока рек заметно меняется по территории изучаемого региона в соответствии с изменением климатических условий как в широтном направлении, так и с высотой местности. Помимо климатических факторов, большое влияние на распределение стока внутри года оказывают местные особенности речных водосборов: гидрогеологические условия и связанные с ними карстовые явления, озерность, заболоченность и физические свойства почвогрунтов.

Подробное описание климатических, почвенно-геологических и геоморфологических условий дано в соответствующем разделе справочника. Ниже дано краткое описание факторов подстилающей поверхности, влияющих на формирование внутригодичного распределения стока. Значительная роль принадлежит лесистости, озерности и заболоченности территории.

Леса бассейна Камы – мощный регулятор гидрологического режима всего бассейна Волги. Средняя лесистость бассейна региона относительно велика, составляет порядка 60 % [30]. В северной части бассейна она достигает 80–85 %; в широколиственно-хвойных лесах – порядка 50 %; в полосе широколиственных лесов 15 % (приволжская часть), 12 % (заволжская лесостепь). В районах лесостепи лесистость не превышает 5–6 %.

В гидрографической сети бассейна Камы представлено более 10 000 озер разного генезиса, неравномерно распределенных по его площади. В большинстве случаев – это пойменные озера. Средняя озерность бассейна равна 0,8 %. В бассейне Камы – около 180 водохранилищ, полный объем которых составляет почти 40 км³, полезный – 20 км³, а суммарная площадь зеркала – немногим более 6 тыс. км². Удельный вес региона в суммарном объеме водохранилищ бассейна Волги и по площади зеркала составляет около 20 %. Основная масса водохранилищ бассейна Камы – малые, объемом от 1 до 10 млн м³. Болота – важный элемент гидрографической сети бассейна Камы. Они оказывают мощное влияние на естественную зарегулированность стока и качество речных вод. Средняя заболоченность бассейна Камы составляет 1,7 %. Болота неравномерно распределены по территории бассейна. Наибольшее количество болот находится на севере бассейна, где условия увлажнения и рельеф способствуют заболачиванию местности. К югу число болот заметно сокращается.

Все реки бассейна Камы относятся к типу рек с весенним половодьем и с паводками в теплое время года (рисунок 5.1). На севере равнинной части региона (Волго-Онего-Печорский район, Лу1) распространены реки с весенним половодьем с максимумом в середине мая, с летними и осенними паводками (рисунок 5.2). Межень на этих реках продолжительная, средняя по водности. Ледостав устойчивый, средний по продолжительности.

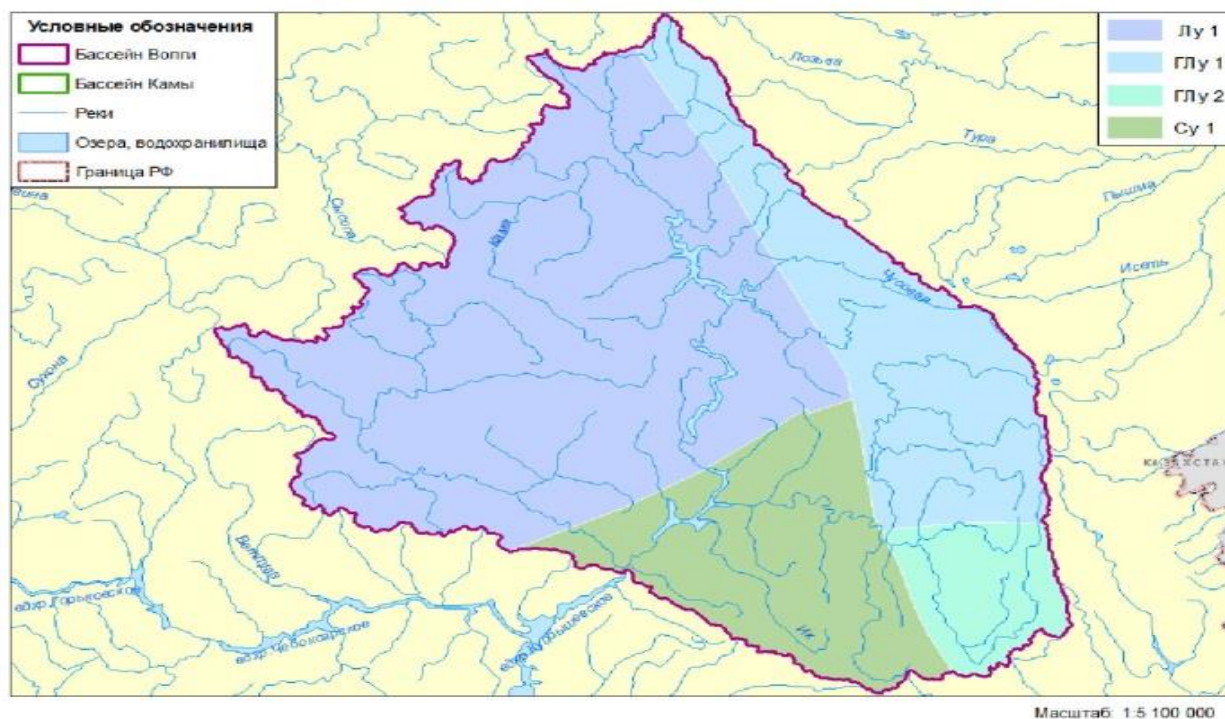


Рисунок 5.1 – Схема гидрологических районов (по [55])

На юге равнинной части бассейна (Средневолжский район, Су1) максимум весеннего половодья на реках наблюдается в середине апреля; паводки преимущественно летние, а также осенние. Межень продолжительная, низкая по водности. Ледостав средний по продолжительности

На востоке региона, на Урале (Северо-Восточный и Центральный Уральский районы, ГЛу1) максимум весеннего половодья на реках наблюдается в начале мая, а летние и осенние паводки превышают в отдельные годы средний максимум половодья. Межень средняя по водности. Ледостав устойчивый, средний по продолжительности.

На реках южного Урала (Южный Уральский район, ГЛу2) максимум весеннего половодья наблюдается в конце апреля. Паводки формируются летом и осенью. Летняя межень средняя по водности. Ледостав устойчивый средней продолжительности.

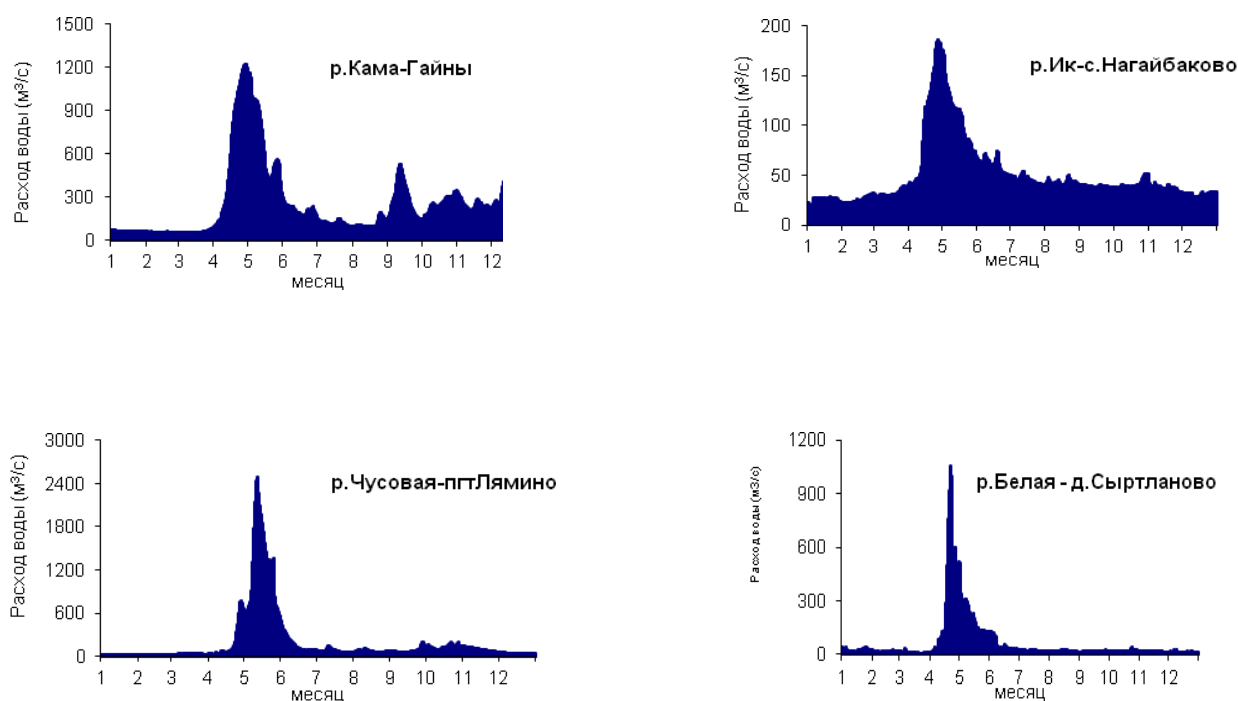


Рисунок 5.2 – Гидрографы стока рек бассейна Камы

5.2 Характеристика внутригодового распределения стока рек

Исходными данными для анализа внутригодового распределения стока рек бассейна Камы послужили месячные данные о расходах воды по 68 постам. Расчет внутригодового стока производился по водохозяйственным годам. За начало водохозяйственного года в этом районе был принят апрель. На основании анализа гидрографов годового стока по всем пунктам наблюдений было выделено три сезона: весна (апрель – июнь), лето – осень (июль – ноябрь), зима (декабрь – март). Водохозяйственный год делился на два периода: лимитирующий (ЛП) – лето – осень, зима и

нелимитирующий (НП) – весна. Лимитирующий период, соответственно делился на нелимитирующий сезон (лето – осень) и лимитирующий сезон (зима).

Расчетные данные внутригодового распределения стока рек бассейна Камы представлены в Приложениях А.4–А.6. Изменение стока в течение года рассмотрено по месяцам и по сезонам, границы которых приняты на всей территории едиными.

Сезонное распределение стока. Целью расчета является установление характеристик сезонного распределения стока в годы различной водности [56]. Для этого произведена статистическая обработка ежегодных данных о стоке за нелимитирующий период (НП), лимитирующий период (ЛП) и лимитирующий (зимний) сезон (ЛС), в результате которой получены параметры кривых обеспеченности (средние значения, C_v и C_s) для 68 пунктов по данным за весь период наблюдений, а также за периоды 1946–2009, 1946–1977, 1978–2009 гг. (Приложения А.4–А.6). Карты сезонного стока (слой в мм и коэффициент вариации) построены для современного периода (1978–2009) и представлены на рисунках 5.3–5.5.

Большая часть годового стока рек формируется в весенний сезон. Слой стока за весенний (нелимитирующий период) закономерно увеличивается с юго-запада на север, достигая наибольших значений в бассейнах Вишеры, Язьвы и Колвы (р. Язьва – с. Нижняя Язьва – 365 мм). В верховьях Камы, Вятки эта величина составляет 180–190 мм. Соответственно доля стока за НП равна 65–70 % от годового. Для левобережных притоков Вятки (Чепца, Кильмезь и их более мелких притоков) величина стока за нелимитирующий период составляет 130–160 мм, а соответствующая доля стока от годового около 65 %. Для бассейна р. Чусовая слой стока также велик – около 175–200 мм, а доля стока составляет около 60 %. В бассейне р. Белая величина слоя стока заметно меняется в зависимости от высоты местности, достигая 150–200 мм в верховьях и уменьшаясь до 80–90 мм в бассейне Демы, Чермасана и Сюни. В верховьях Белой доля стока около 70 % от годового, для бассейна Уфы – 55–60 %, левобережных притоков Белой (Дема, Чермасан и др.) – 60–65 %. Для бассейна р. Ик величина слоя стока за НП равна 79 мм, а доля стока 57 %.

Слой стока за ЛП также закономерно увеличивается с юго-запада на северо-восток от 60 до 200 мм. Относительно высокий слой стока характерен для горной части бассейна (более 100 мм) и верховьев самой Камы. Доля стока за ЛП сравнительно мало меняется по территории и составляет 30–35 % для большей части территории и более 40 % для бассейна Чусовой, Уфы и других рек с значительной площадью распространения карста. Изменение доли стока за период за 1978–2009 гг. более значительно – от нуля (и даже небольшого уменьшения) на северо-востоке (бассейн Вишеры и Язьвы) до увеличения в 30 % и более для бассейна Кильмези, низовьев Вятки, Чермасана, Сюни Ика и других рек. Для горной части бассейна увеличение доли стока за ЛП незначимо и составляет для большинства рек 10–15 %.

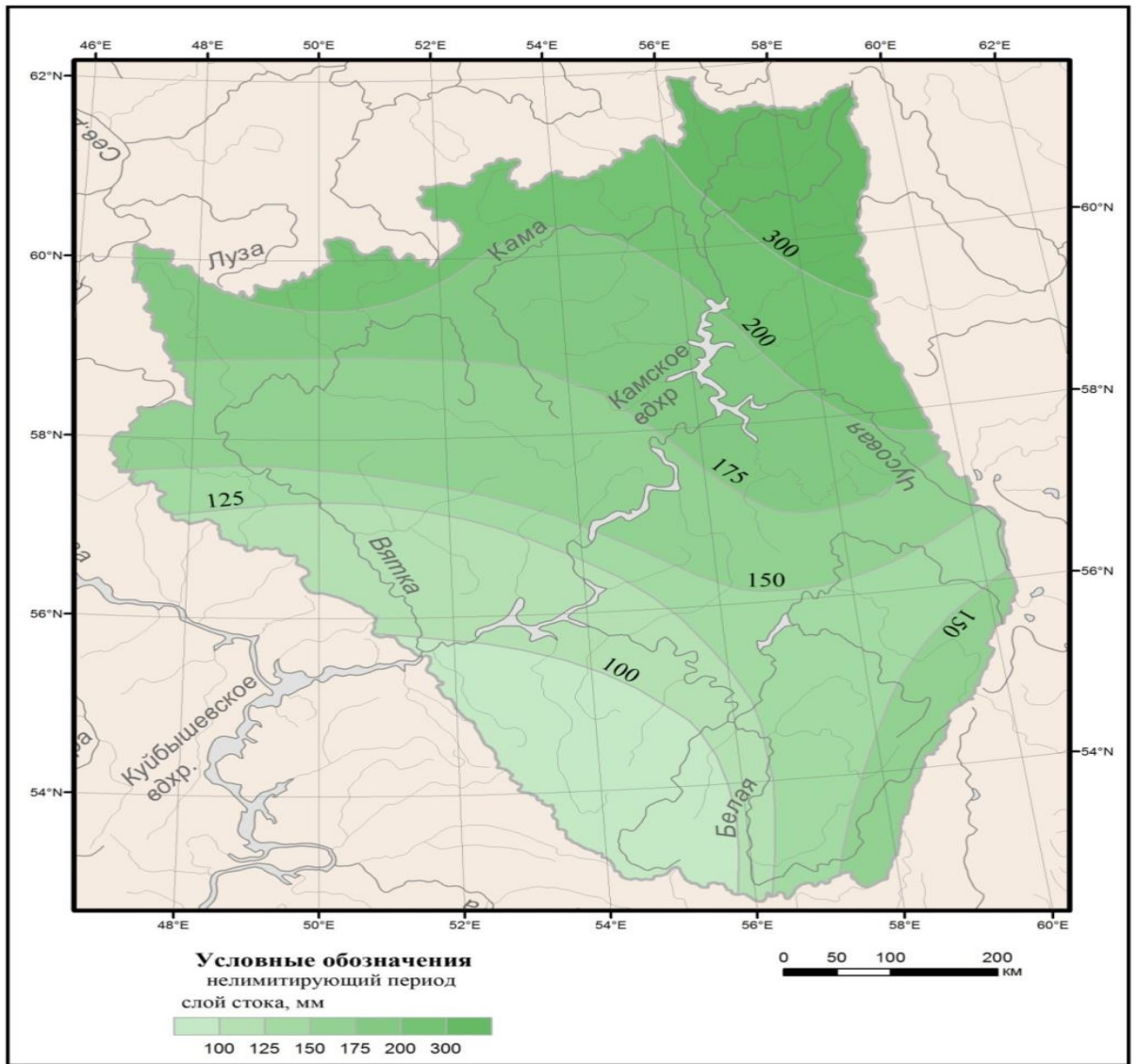


Рисунок 5.3 – Слой стока за нелимитирующий период для рек бассейна Камы (мм) за 1978–2009 гг.

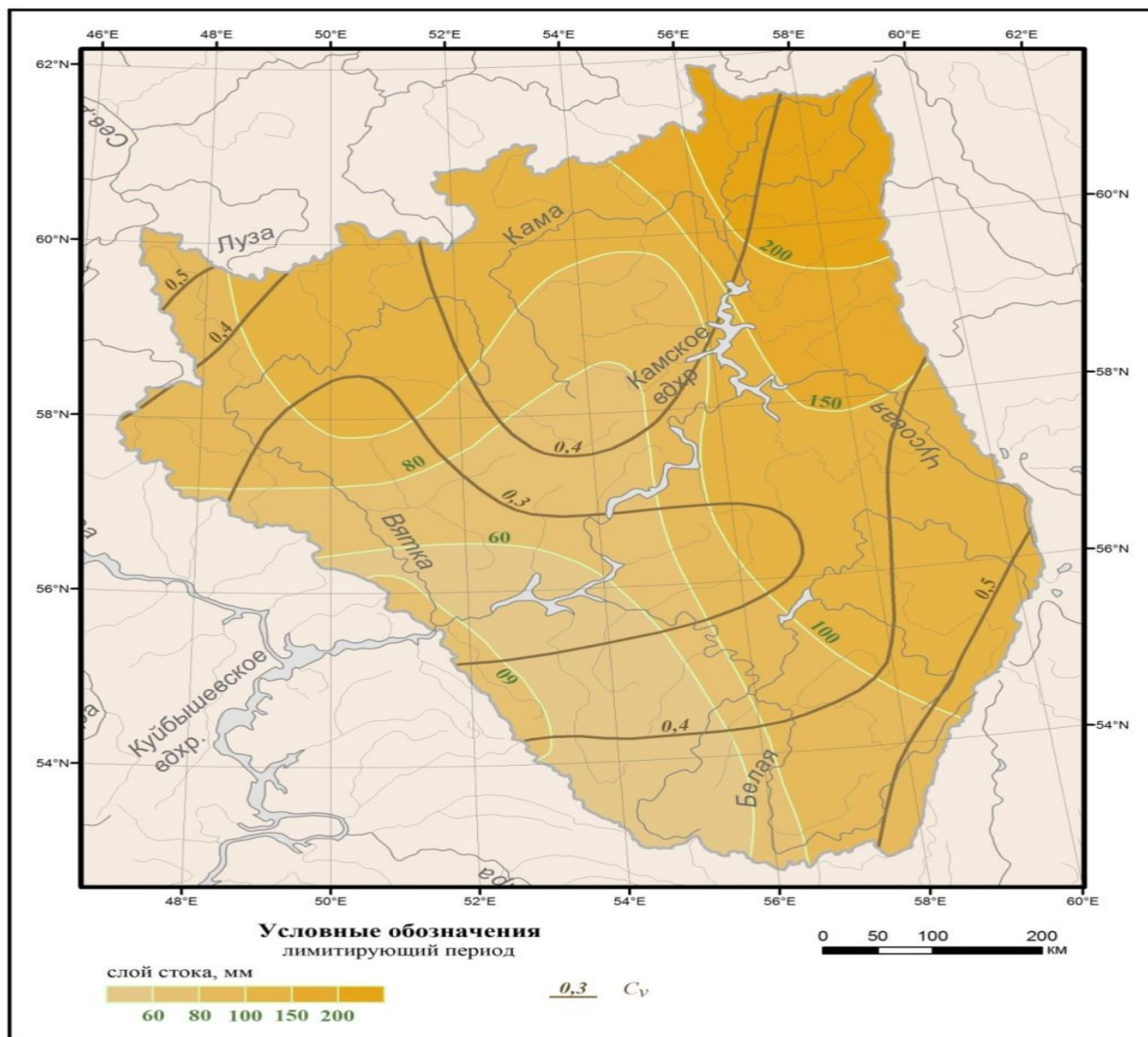


Рисунок 5.4 – Слой стока (мм) и коэффициент вариации за лимитирующий период для рек бассейна Камы за 1978–2009 гг.

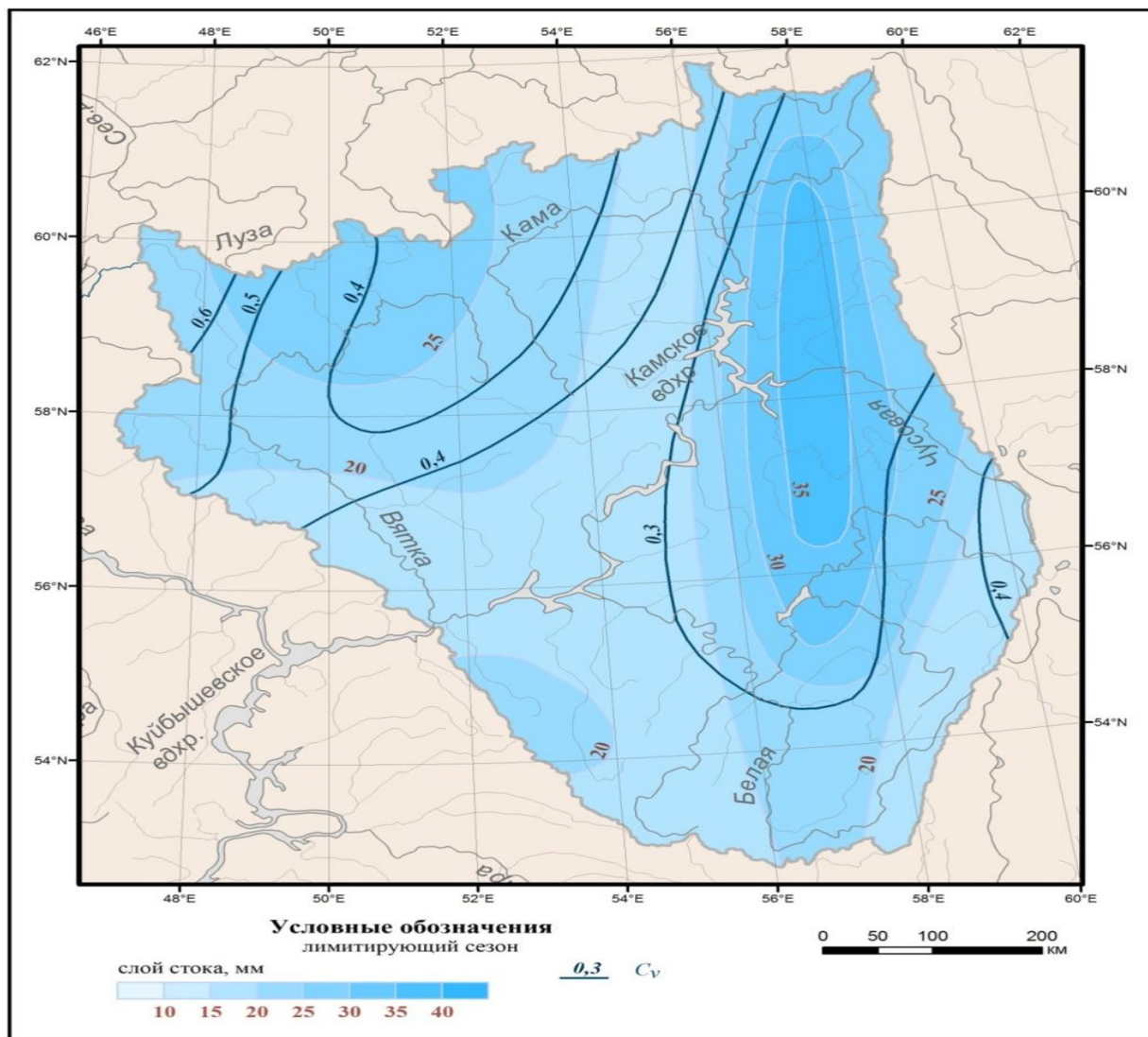


Рисунок 5.5 – Слой стока (мм) и коэффициент вариации за лимитирующий сезон для рек бассейна Камы за 1978–2009 гг.

Наиболее низкий сток наблюдается зимой, когда реки почти полностью переходят на подземное питание. Зимний сток на всех реках рассматриваемого региона меньше летне-осеннего. Доля зимнего стока в годовом колеблется от 5–9 % на севере территории, до 10–12 % на остальной ее части. На малых водотоках зимой сток нередко почти полностью отсутствует.

Величина слоя стока за зимний лимитирующий сезон колеблется от 15 до 25 мм в равнинной части бассейна, равна около 15–20 мм в верховьях Белой, Чусовой и достигает максимальных значений (40–50 мм) в районе расположения карста (бассейн Уфы, Быстрого Таныпа, Сылвы и других рек). Изменение (увеличение) доли зимнего стока от годового за последние тридцать лет составляет примерно такие же значения, как и в целом для ЛП – от 0–10 % на севере до 40–60 % в юго-восточной части бассейна.

Естественная зарегулированность стока рек бассейна Камы [57]. Помимо климатических факторов, большое влияние на распределение стока внутри года оказывают местные особенности речных водосборов: гидрогеологические условия и связанные с ними карстовые явления, озерность, заболоченность и физические свойства почвогрунтов.

Для расчета коэффициента естественной зарегулированности ϕ использованы данные по рекам с водным режимом, существенно не искаженным хозяйственной деятельностью, с диапазоном площадей водосборов от 500 до 10 000 км².

Случаи статистически значимых возрастающих трендов коэффициента естественной зарегулированности ϕ (1946–2010 гг.) в бассейне Камы единичны (реки Ай, Белая, Вятка, Дема). За последние 30 лет для всех рядов коэффициента ϕ статистически значимый тренд не наблюдается, хотя для большинства рядов все же прослеживается слабая тенденция увеличения естественной зарегулированности стока.

На рисунке 5.6 представлена карта изолиний коэффициента ϕ , рассчитанного за 1978–2010 гг. Для исследуемых рек бассейна Камы диапазон изменения величины ϕ находится в пределах 0,55–0,70, достигая максимальных значений в районах распространения карста. В значительной степени на характер естественной зарегулированности стока оказывают влияние особенности рельефа, глубина расчленения речных долин, подстилающие породы, влияющие на условия питания подземных вод. Большое влияние на внутригодовое распределение стока во многих районах бассейна Камы оказывает карст. Закарстованность отдельных бассейнов достигает 50 % и более [2]. Для этих бассейнов характерен наиболее выровненный режим стока.

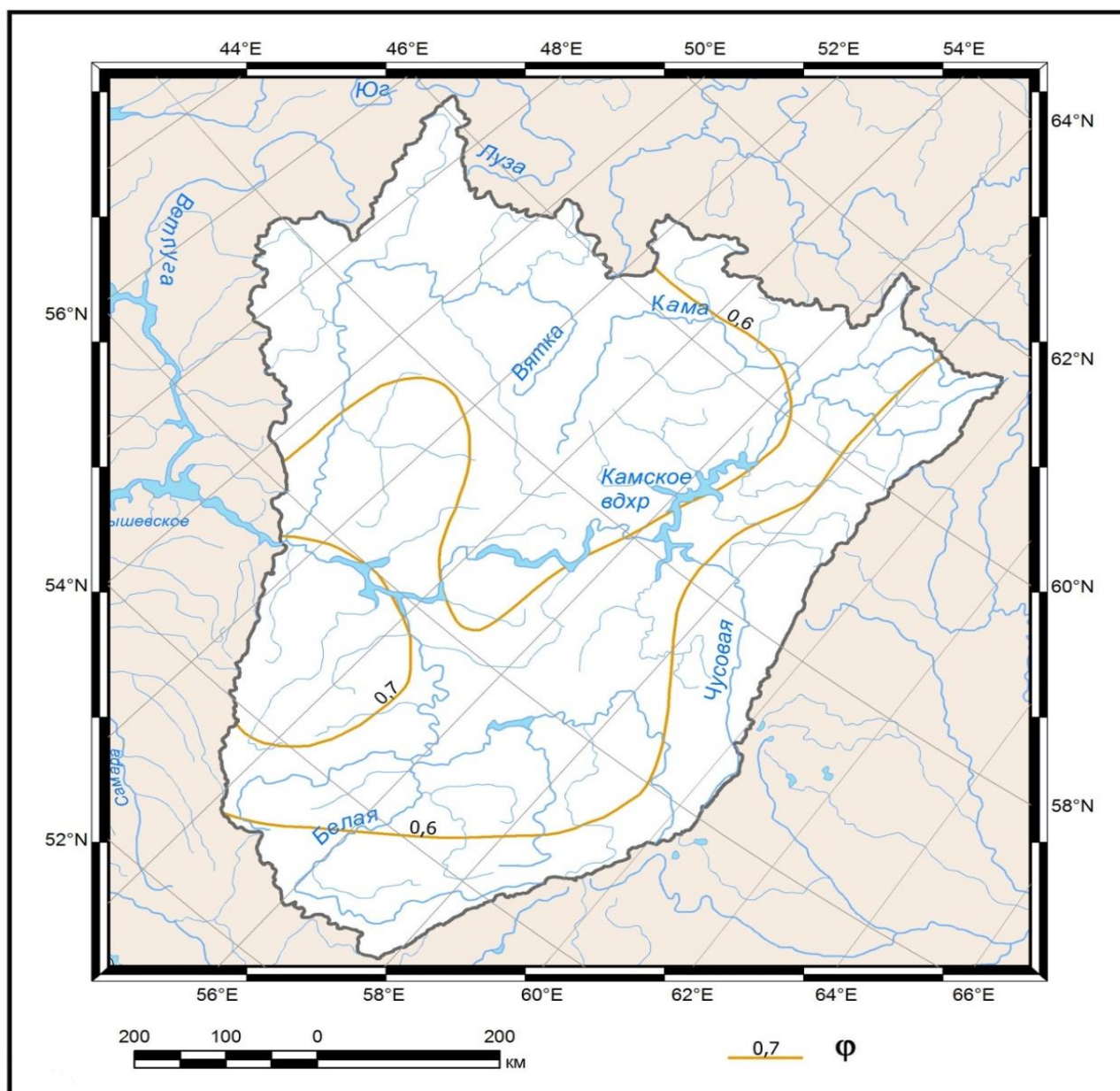


Рисунок 5.6 – Карта изолиний коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ для рек бассейна Камы за 1978–2010 гг.

Изменение характеристик внутригодового распределения стока по территории. Для характеристики пространственной изменчивости внутригодового распределения стока было проведено гидрологическое районирование (рисунок 5.7). В качестве критериев отнесения рек к тому или иному району использованы подобие формы гидрографов стока, рассчитанных в относительных единицах (%), абсолютные величины слоев стока за НП, ЛП и ЛС и доли сезонов в годовом стоке, 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 [2].

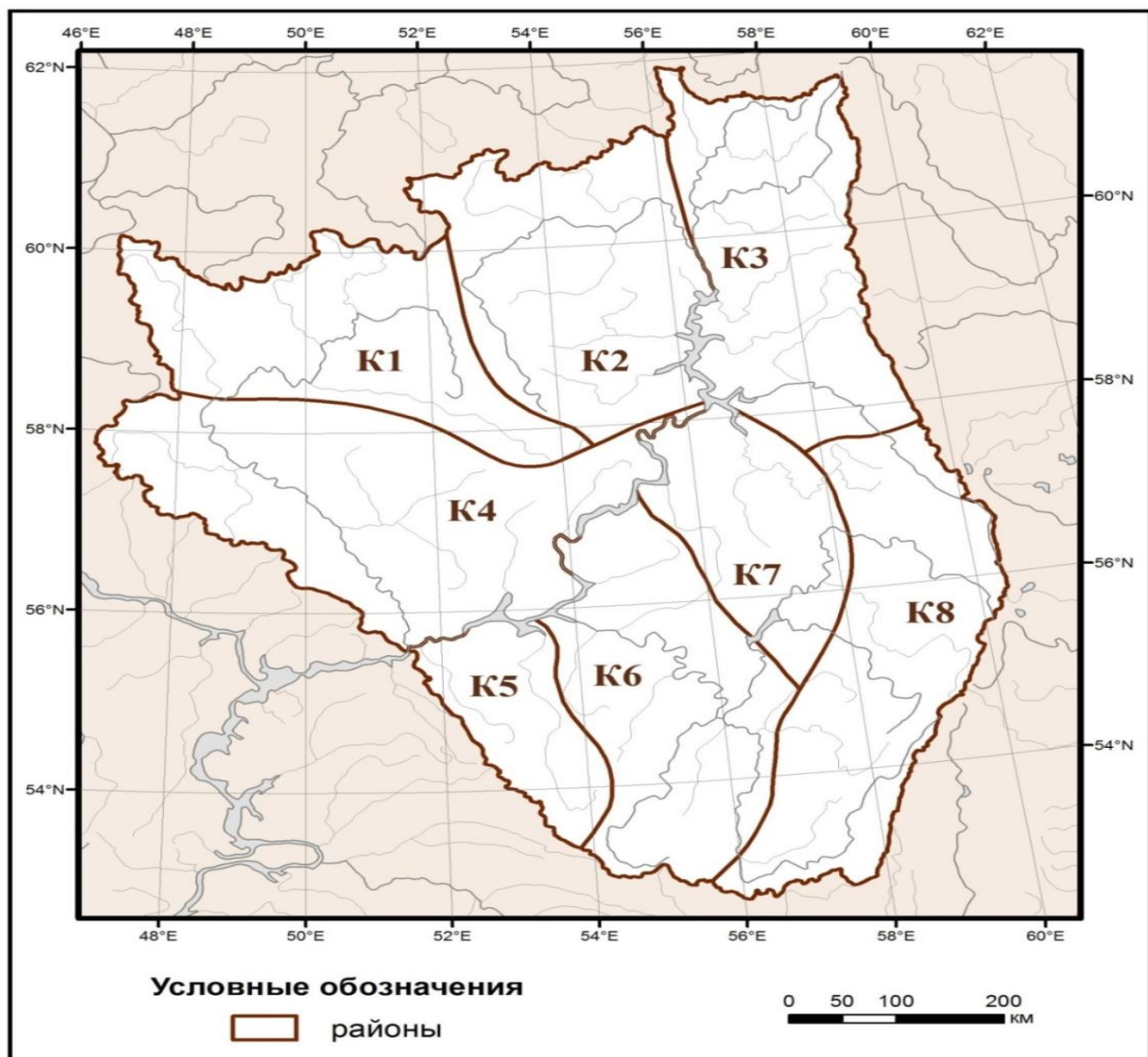


Рисунок 5.7 – Районирование бассейна Камы по характеру внутригодового распределения стока

Район 1 включает в себя верховья Вятки, бассейн Моломы, Летки, Чепцы. На севере района находятся Северные Увалы – пологоволнистые, местами плоские, с многочисленными болотами междуречья, разделенные широкими, плоскими, заболоченными долинами рек, а на западе плосковолнистая Вятско-Ветлужская равнина. Для района характерна большая пестрота в глубинах залегания водоносных горизонтов, значительные различия условий питания подземных вод. Наибольший сток практически всегда проходит в апреле, хотя и март характеризуется высокими расходами и долей стока за год. В целом в период весны проходит 65–70 % стока от годового (максимум в верховьях Моломы и Летки), в период межени (ЛП) – 30–35 %, в период зимнего сезона – 8–10 %. Наибольшей величины доля стока за межень от годового достигает у рек Черная и Холуница (44 %) , что, по-видимому, связано с искусственным регулированием стока

этих рек. В октябре на всех реках наблюдаются повышенные расходы воды. Наименьший сток чаще всего наблюдается в марте, реже – в феврале. Изменчивость стока за период межени сильно различается по территории (C_v от 0,28 (Б. Холуница) до 0,54 (Молома)) Среднее значение коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ (1978–2010 гг.) равно 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 первого района не выражена. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 2, для ЛС равно 3.

В целом за последние десятилетия в многоводные и в средние по водности годы увеличивается доля стока за апрель и уменьшается сток в мае. Доля меженного стока меняется незначительно. В маловодные годы заметно увеличился сток в меженный период, особенно в летне-осенний.

Район 2 включает верховья Камы, бассейны Косы, Иньвы, Обвы. В его пределах располагается Верхнекамская возвышенность, имеющая большую расчлененность и меньшую заболоченность по сравнению с Северными Увалами. На востоке располагаются отроги Тиманского кряжа.

Наибольший сток наблюдается в мае, хотя в маловодные годы максимальные расходы чаще всего встречаются в апреле. Слой за весенний сезон составляет 175–200 мм, в течение весеннего сезона проходит 65–70 % годового стока. Изменение (уменьшение) доли стока НП за прошедшие десятилетия незначительно – 5–10 %. Слой стока за ЛП и ЛС обнаруживает слабую тенденцию роста с площадью водосбора. Изменчивость стока за период межени (ЛП) меняется в зависимости от площади водосбора следующим образом: при $F < 2000 \text{ км}^2$, $C_v = 0,50–0,65$; $F = 2000–10\,000 \text{ км}^2$, $C_v = 0,30–0,55$; $F > 10\,000 \text{ км}^2$, $C_v = 0,30$. Меженный сток за последние десятилетия увеличился незначительно (5–15 %). Доля стока за зимний сезон очень мала – 4–8 %. Коэффициент вариации уменьшается с ростом площади водосбора. В отличие от других составляющих, зимний сток заметно увеличился за последние годы, примерно на 20–25 %. Коэффициент естественной зарегулированности стока достаточно высок – 0,60–0,65. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 2, для ЛС – 3.

Район 3 включает бассейны левых притоков р. Кама, стекающих со склонов Северного Урала, – рек Вишеры, Колвы, Яйвы и др. Режим этих рек характеризуется следующим распределением стока внутри года. Весенний сток средних рек составляет 60–65 %, меженный сток 37–40 %, а зимний 6–8 % от годового. Коэффициенты естественной зарегулированности стока равняются 0,55–0,60. Для рассматриваемых рек характерны статистически незначимые тенденции увеличения весеннего стока и уменьшения меженного, нехарактерные для всей остальной части бассейна Камы. Коэффициент вариации стока за ЛП составляет около 0,30, стока за ЛС – 0,20–0,25.

Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 2, для ЛС равно 3. Большие площади этого района, сложенные известняками и гипсоносными породами, отличаются интенсивным развитием карста. Распределение месячного стока внутри сезона носит однотипный характер на реках рассматриваемого района. Весной наибольший сток наблюдается в мае; второе место по величине стока занимает июнь; в апреле проходит 5–7 % объема годового стока. Летом месячный сток в большинстве случаев постепенно уменьшается (от 8–9 % в июле до 4–5 % в сентябре). В октябре сток увеличивается до 9–10 % годового объема за счет частых осенних дождей. В зимние месяцы сток постепенно уменьшается к концу зимы (в среднем от 2,5 до 1,3 %). Наиболее выровненным распределением стока по сравнению с другими реками района отличаются р. Березовая у д. Булдырья (закарстованность водосбора до 50 %) и р. Кутим.

Район 4 включает правобережную часть бассейна нижней Камы и бассейн низовьев р. Вятка. Весенний сток на реках района меняется от 110 мм на юге до 160 мм на севере и составляет 65–70 %, сток за период межени – 30–35 % годового. Относительно небольшая доля меженного стока объясняется отсутствием значительных дождевых паводков в летне-осенний период. Зимний сток составляет 10–12 % годовой величины. Распределение месячного стока внутри сезонов на реках района носит довольно устойчивый характер. Наибольший сток наблюдается в апреле. В остальную часть года сток, как правило, постепенно уменьшается, исключая осенние месяцы, когда наблюдается некоторое его увеличение за счет дождей. Коэффициенты естественной зарегулированности стока равняются 0,55–0,60. Климатические изменения последних десятилетий привели к увеличению доли как меженного, так и зимнего стока на 40–60 %. 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 равно 1, для ЛС – 2.

Район 5 включает бассейны левобережных притоков Нижней Камы, стекающих с Бугульминско-Белебеевской возвышенности и характеризующихся благоприятными условиями подземного питания, а соответственно, и равномерным распределением стока внутри года (коэффициент естественной зарегулированности стока равен 0,50–0,55). Из общего объема годового стока на период межени здесь приходится примерно 40–45 %. Доля стока в период зимней межени значительно увеличилась в последние десятилетия, примерно на 40 % по сравнению с 1946–1977 гг. Коэффициент вариации стока за ЛП и ЛС равен 0,30–0,40. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 1, для ЛС равно 2.

Район 6 включает бассейн средней части и низовьев р. Белая с ее притоками. Район отличается сложным гидрогеологическим строением. Коэффициент естественной зарегулированности стока высок и достигает 0,65–0,70. В пределах равнинной части территории, прилегающей к долине р. Белая, сезонное распределение стока характеризуется долей меженного стока, равной 30–35 % от годового при относительной величине стока за зимний сезон 8–10 %.

Коэффициент вариации стока за ЛП и ЛС равен 0,35–0,45. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП равно 1, для ЛС равно 2. Основная доля стока проходит в апреле месяце – от 30 % в средний по водности год для р. Дема до 40–50 % для рек Чермасан и Сюнь. Если для р. Дема сток остается еще высоким в мае (бассейн реки характеризуется повышенным значением озерности), то для Чермасана и Сюни он быстро уменьшается примерно до 10 % и становится низким в период летне-осенней и зимней межени. Рост расходов в период весеннего половодья на этих реках начинается в марте. В последние годы увеличение доли меженного стока (особенно зимнего) стало очень заметным – до 30–40 %.

Район 7 включает бассейн Сылвы, среднее течение Уфы, верховья Быстрого Таныпа. К нему относятся низменности верхней и средней Камы, Уфимское плато с глубиной вреза рек более 100 м. Многочисленны современные и древние карстовые формы рельефа. Коэффициент естественной зарегулированности стока высок и достигает 0,65–0,70. Доля меженного стока для рек района составляет до 40–50 % от годового, а зимнего стока 13–17 %. Изменчивость стока за период межени равна 0,25–0,30. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП и ЛС равно 2–3.

В весенний сезон наибольший месячный сток (30 % годового объема) наблюдается, как правило, в апреле, следующим по водности является май. В течение лета сток обычно убывает, но в осенние месяцы его величина опять возрастает в связи с формированием дождевых паводков. Зимний месячный сток на современном этапе существенно выше значений, характерных до 1977 г.

Район 8 представляет собой горную территорию с интенсивным развитием карста (рисунок 1.14). Он включает верховья рек Чусовая, Уфа, Ай и Белая. Средняя величина естественной зарегулированности стока равна 0,55–0,60. Несмотря на разнообразие природных условий, относительное внутригодовое распределение стока указанных рек довольно стабильно. Доля весеннего стока средних рек составляет 65–70 % годового объема, за период межени 30–35 % (зимнего 5–10 %). Наличие карстовых явлений вносит большую пестроту во внутригодовое распределение речного стока. Отношение C_s/C_v для слоя стока за ЛП и ЛС равно 1–2.

6 СТОК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

6.1 Характеристика весеннего половодья

Половодье является важнейшей фазой гидрологического режима. Половодье – фаза водного режима, характеризующаяся высокой водностью, ход стока во время которого 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.

Бассейн р. Кама расположен на западном склоне Уральских гор и на Русской равнине. Большая его часть находится в лесной природной зоне, и лишь часть бассейнов левобережных притоков нижней половины реки — в зоне лесостепи.

Реки бассейна Камы подразделяются на две основные группы: горные и равнинные. К первой относятся левобережные притоки среднего течения р. Кама – реки Вишера с притоком Колва, Яйва, Косьва, Чусовая с Сылвой, Белая с Уфой и др. Они меандрируют по дну реликтовых древних долин, приуроченных к днищам межгорных депрессий.

Существенное влияние на распределение весеннего стока по территории оказывает рельеф. Наличие параллельно расположенных хребтов, идущих в меридиональном направлении и обуславливающих экранирующий эффект, большая расчлененность Урала являются причиной пестрого распределения весеннего стока в горных районах.

Большая роль в процессе стекания талых и дождевых вод принадлежит уклонам, густоте овражно-балочной и речной сети, от которых зависит величина потерь на впитывание и аккумуляцию в бессточных понижениях на поверхности водосбора. Влиянием этих факторов объясняются местные нарушения зонального характера распределения весеннего стока в пределах равнинной части территории.

Реки рассматриваемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем. Большая часть годового стока рек формируется в весенний период. В отдельные годы (с ранней весной и возвратом холодов) в период снеготаяния может наблюдаться несколько пиков подъема уровней. Доля весеннего стока составляет от 50 % на севере до 80 % на реках юга равнинной части бассейна р. Кама.

В верховьях Камы, Вятки доля стока весеннего половодья составляет 65–70 % от годового.

Для левобережных притоков Вятки (Чепца, Кильмезь и их более мелких притоков) доля стока от годового около 65 %, для бассейна р. Чусовая – около 60 %, в верховьях р. Белая – около 70 % от годового, для бассейна Уфы – 55–60 %, левобережных притоков Белой (Дема, Чермасан и др.) – 60–65 %, для бассейна р. Ик – 57 %.

На севере равнинной части региона максимум половодья наблюдается в середине мая, на юге равнинной части бассейна – в середине апреля, на востоке региона – в начале мая, на реках южного Урала – в конце апреля.

Продолжительность половодья зависит от размеров рек, высотного положения их водосборов, от увлажненности территории и величины снеготаяния к началу снеготаяния и колеблется от 22 до 65 дней. Максимальный сток в период весеннего половодья изменяется по территории в широких пределах.

6.2 Исходные данные

Исходными материалами для анализа характеристик максимального стока весеннего половодья рек бассейна Камы послужили ежегодные данные по 241 посту, в том числе и ранее закрытым, с рядами наблюдений от 1 до 130 лет. Для 23-х постов период наблюдений составил менее 6 лет. Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 200 км², средняя продолжительность наблюдений по которым составляет 40 лет, на их долю приходится 90 % общего количества постов наблюдений. Данные по характеристикам весеннего стока рек с площадями водосборов менее 200 км² имеются по 25 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.

В настоящее время наблюдается незначительное сокращение продолжительности половодья на северо-востоке района, на юго-западе и юго-востоке половодье более растянутое.

Для повышения точности расчетов и определения 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 72 года, при этом длина ряда увеличилась в среднем на 12 лет.

6.3 Оценка однородности и стационарности гидрологических характеристик

Оценка однородности максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья была выполнена по критериям Фишера и Стьюдента с использованием многолетних данных по 241 гидрологическому посту.

В результате выполненных расчетов было установлено, что по критерию Стьюдента 38 % рядов максимальных расходов воды являются неоднородными, а по критерию Фишера – 41 %.

Результаты оценки однородности рядов слоев стока весеннего половодья показали, что по критерию Стьюдента неоднородными являются 23 % рядов, а по критерию Фишера – 19 %.

Весенний сток в последние десятилетия снизился по отношению к предшествующему многолетнему периоду на реках юга равнинной части бассейна Камы, включающей бассейны левобережных притоков Нижней Камы, бассейн средней части и притоков нижней части р. Белая. Для рек Ик, Зай (Степной Зай), Дымка уменьшение составило 30–40 % (рисунок 6.1). Эти изменения могут быть связаны как с хозяйственной деятельностью на водосборах, так и с климатическими изменениями, что и явилось причиной возникновения статистической неоднородности. Увеличение весеннего стока на 10–20 % наблюдается на левобережных притоках Камы (рисунок 6.2). Для рек, на которых произошло снижение слоев весеннего половодья, отмечается и уменьшение дисперсии их колебаний (рисунок 6.1).

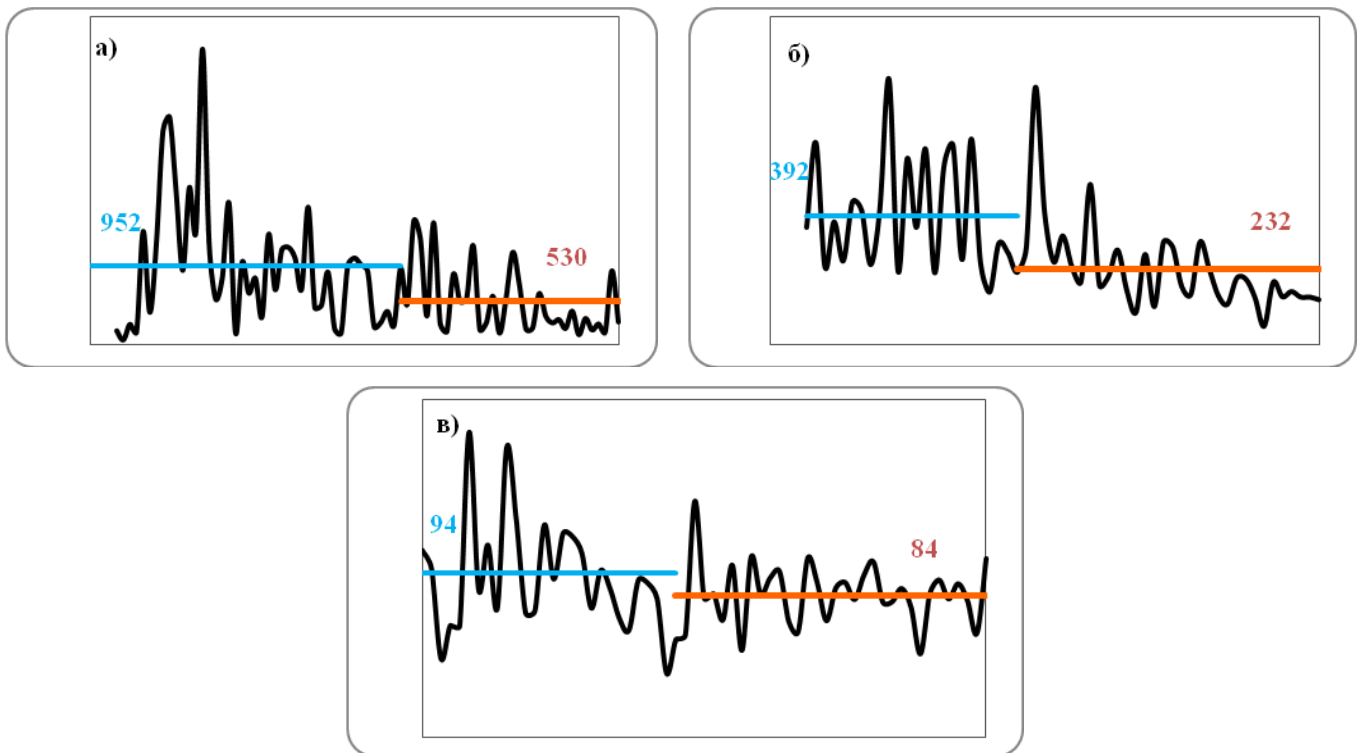
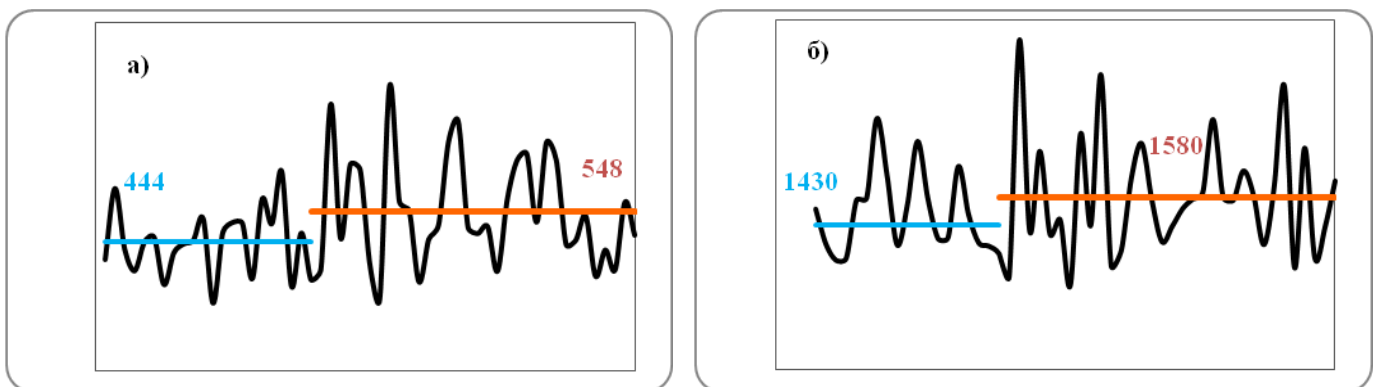


Рисунок 6.1 Многолетние изменения максимальных расходов воды весеннего половодья ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Камы
 Горизонтальными отрезками показаны средние значения за периоды до (синий цвет) и после 1977 г. (красный цвет): а) р. Ик – с. Нагайбаково ($F = 12\,300 \text{ км}^2$); б) р. Воя – г. Нолинск ($F = 2680 \text{ км}^2$); в) р. Быстрый Танып – пгт Чернушка ($F = 667 \text{ км}^2$)

На реках, на которых произошло увеличение стока весеннего половодья, отмечается увеличение дисперсии их колебаний (рисунок 6.2).

Для однородных рядов при расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности использованы аналитические кривые обеспеченности (распределение Крицкого – Менкеля или распределение Пирсона III типа (биномиальное), а при неоднородных рядах расчет значений стока различной обеспеченности проводился по составным кривым распределения [4, 8].



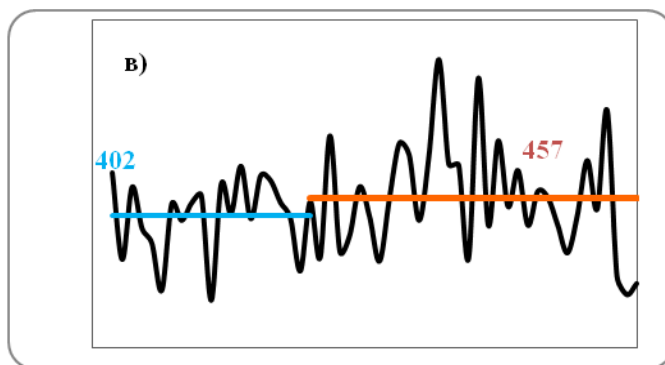


Рисунок 6.2 Многолетние изменения максимальных расходов воды весеннего половодья ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Камы
 Горизонтальными отрезками показаны средние значения за периоды до (синий цвет) и после 1977 г. (красный цвет): а) р. Коса – с. Коса $F = 6340 \text{ км}^2$); б) р. Сытва – с. Подкаменная ($F = 19\,700 \text{ км}^2$); в) р. Юрюзань – д. Чулпан ($F = 4850 \text{ км}^2$)

6.4 Определение параметров 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.

Максимальный сток в период весеннего половодья изменяется по территории в широких пределах.

Величина среднего многолетнего модуля стока малых рек ($F < 1000 \text{ км}^2$) составляет 90–230 л/сек км^2 для лесостепной части бассейна р. Кама. В лесной зоне, как на равнине, так и в горах, средний многолетний модуль максимального стока малых рек не превышает 100–200 л/сек км^2 .

Средняя квадратическая ошибка расчета нормы максимального стока весеннего половодья для 92 % всех рассмотренных рядов не превышает 10 %, в среднем ошибка равна 6 %, в 19 случаях ошибки находятся в диапазоне 11–28 %.

Значения коэффициента вариации максимальных расходов воды весеннего половодья (C_v) изменяется от 0,2 до 1,0. Средняя квадратическая ошибка расчета коэффициента вариации максимальных расходов воды весеннего половодья равна 11 %. В 58 случаев ошибка не превышает 10 %.

Среднее многолетнее значение слоя стока весеннего половодья изменяется от 28 до 408 мм.

Средняя квадратическая ошибка расчета слоя стока весеннего половодья для 96 % всех рассмотренных рядов не превышает 10 %, в среднем ошибка равна 5 %, в 9 случаях ошибка находится в диапазоне 11–21 %.

Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья (C_v) колеблются в пределах 0,30–0,60. Средняя квадратическая ошибка расчета коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья не превышает 10 % для 50 % всех рассмотренных рядов, для 125 случаев ошибка находится в диапазоне 11–27 %.

Коэффициент автокорреляции в бассейнах рек изменяется от 0,01 до 0,64. Для большинства створов коэффициент автокорреляции составил 0,12–0,40.

В результате выполненных проработок повысилась точность параметров кривых распределения стока в пунктах наблюдений по сравнению с данными, опубликованными в «Ресурсах поверхностных вод». Повышение точности обусловило использование более длинных рядов наблюдений, анализа исходных данных, отбраковки сомнительной информации и восстановления имеющихся пропусков в рядах наблюдений.

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 Камы приведены на рисунках 6.3–6.5.

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.

На рассматриваемой территории слой весеннего стока изменяется в больших пределах от 400 мм на северо-востоке (р. Вишера – пос. Велс) до 50 мм в зоне лесостепи (р. Дема – д. Голумилино). В среднем для бассейна Камы слой стока за половодье составляет 160 мм. Наибольшие величины весеннего стока наблюдаются в пределах возвышенных частей Северного и Южного Урала, характеризующихся наилучшими условиями увлажнения, средняя многолетняя величина слоя весеннего стока рек Вишеры, Яйвы и Колвы составляет 250–300 мм.

На западном склоне Южного Урала высокой водностью отличаются реки Сим, Нугуш, весенний сток которых составляет в среднем 200–250 мм.

Слой за весенний сезон для рек верховьев Камы, бассейны Косы, Иньвы, Обвы составляет 175–200 мм.

Слой стока для района, охватывающего верховья Вятки, бассейн Моломы, Летки, Чепцы меняется от 120 мм (р. Чепца – с. Полом) до 175 мм (р. Кобра – д. Верхние Тюрюханы).

Весенний сток на реках правобережной части бассейна нижней Камы и бассейна низовьев р. Вятка изменяется от 110 мм на юге до 160 мм на севере.

В целом сток весеннего половодья находится в норме, т. е. происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости.

Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья (C_v) на большей части территории колеблются в пределах 0,30–0,40.

Соотношение коэффициента асимметрии и вариации колеблется в рассматриваемом районе от 1 до 4. Наименьшее соотношение ($C_s/C_v = 1$) характерно для левых притоков р. Кама, стекающих со склонов Северного Урала, – рек Вишера, Колва, Низьва, и верхней части бассейна Камы и Вятки. Соотношение ($C_s/C_v = 3$) характерно для левобережных притоков Камы (Чусовая) и верхней и средней части р. Вятка и правобережных притоков (Молома, Пижма).

Карта слоя стока в общих чертах повторяет ранее опубликованные обобщения по норме весеннего половодья.

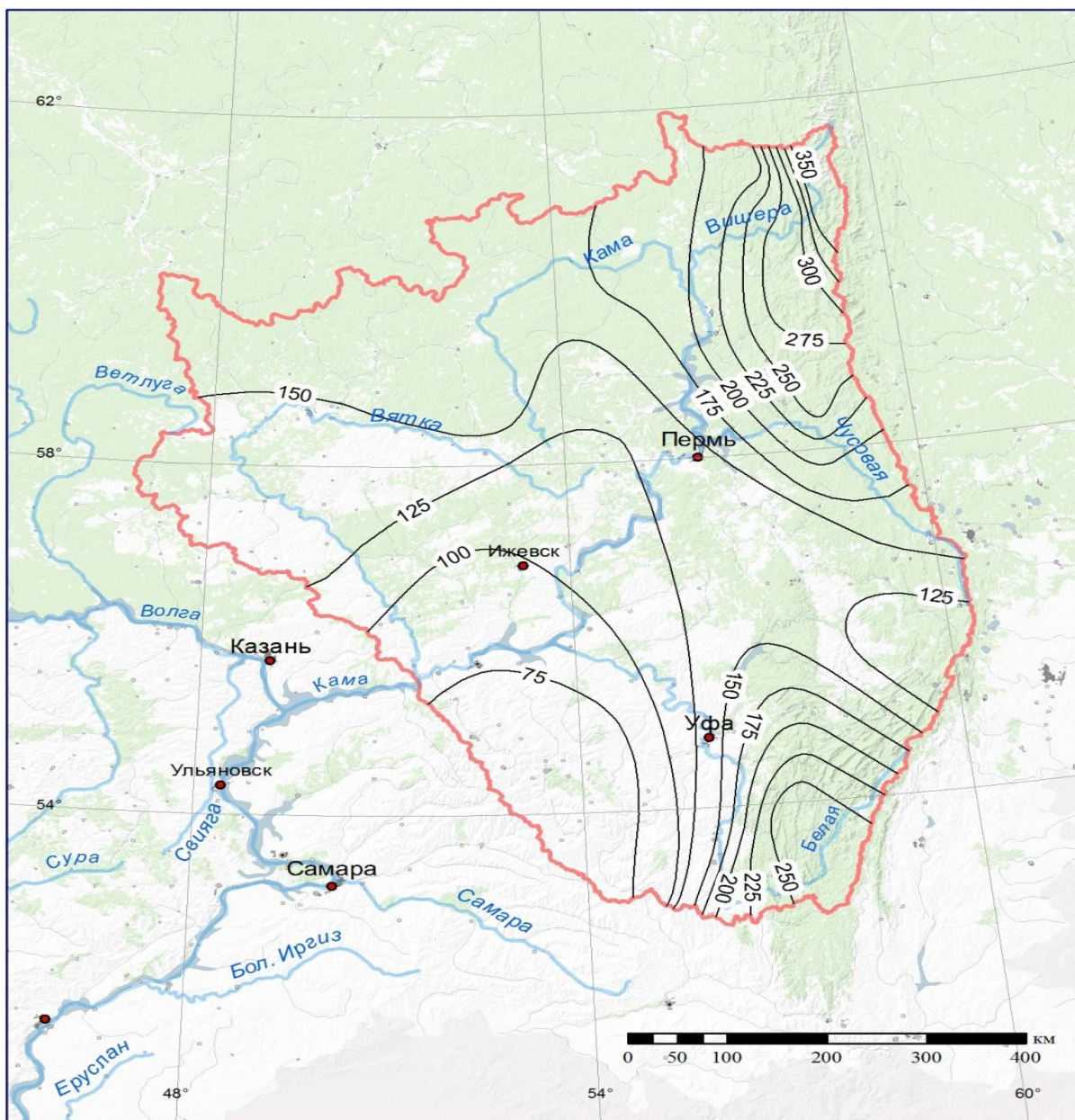


Рисунок 6.3 – Средние многолетние значения слоя стока весеннего половодья рек бассейна Камы, мм

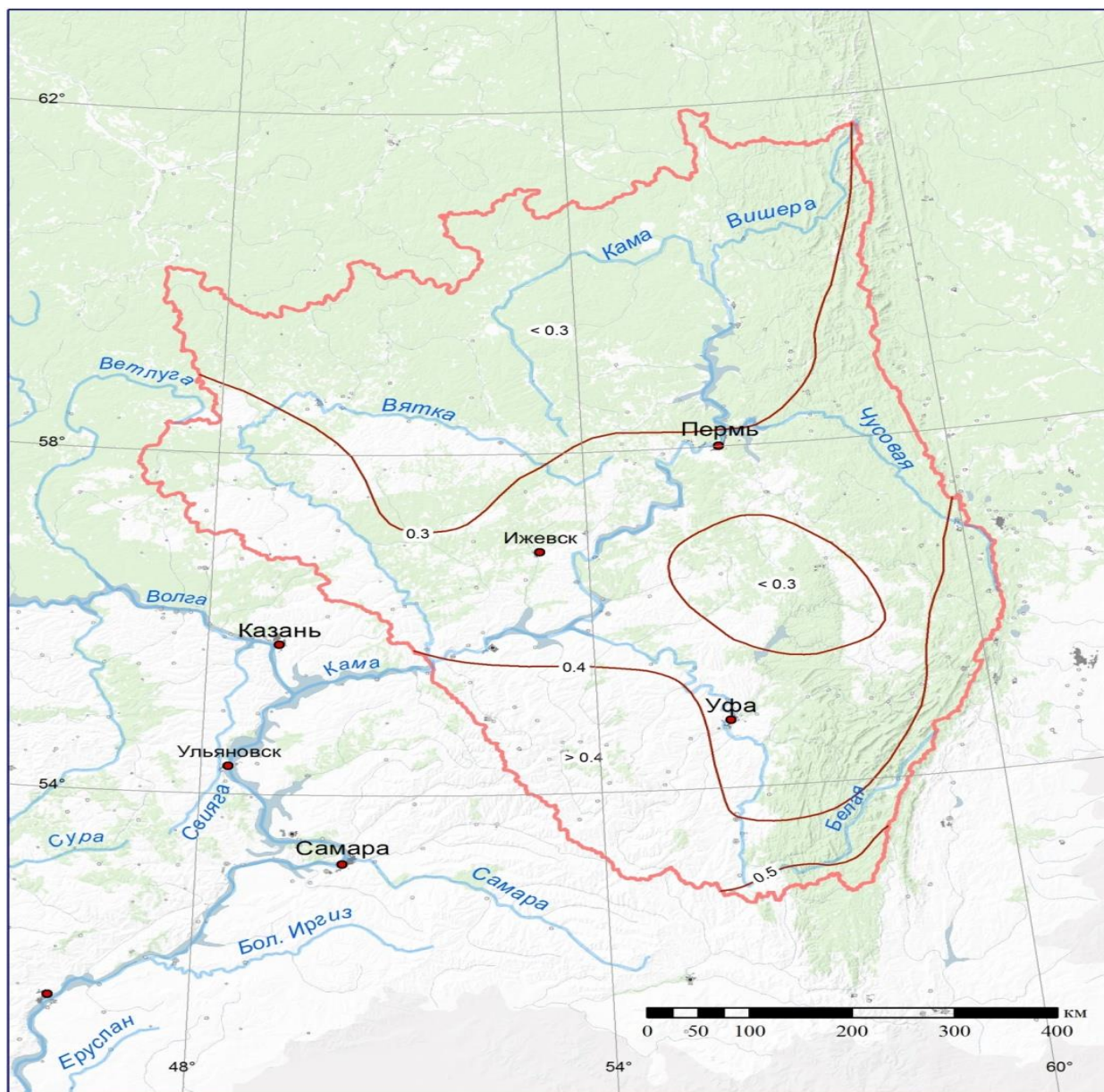


Рисунок 6.4 – Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья рек бассейна Камы

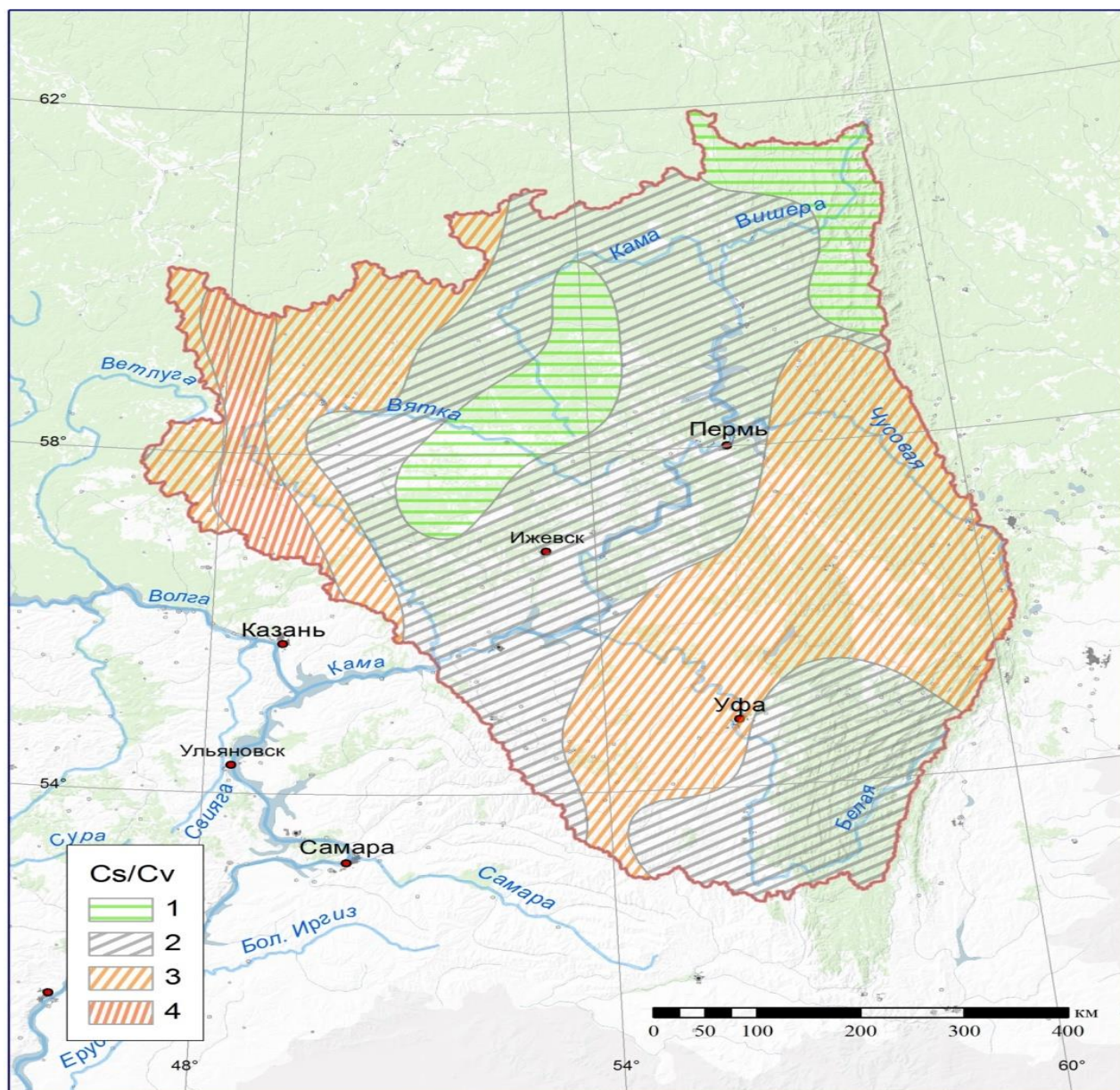


Рисунок 6.5 – Районирование по соотношению C_s/C_v слоя стока весеннего половодья рек бассейна Камы

7 ДОЖДЕВЫЕ ПАВОДКИ

На водотоках бассейна реки Кама дождевые паводки наблюдаются не ежегодно. На равнинных реках в южной части территории количество паводков в среднем не превышает одного – двух в год, а в отдельные годы вообще отсутствуют. На реках горных и предгорных районов в ходе летнего и осеннего сезонов их количество возрастает до 3–5 в год. По объему стока и максимальным расходам дождевые паводки уступают весеннему половодью. Величина стока за отдельные дождевые паводки не превышает 10–15 % стока весеннего половодья на равнинных территориях и 20–25 % на горных реках. Ливневые осадки вызывают интенсивные подъемы уровней на малых водотоках, тогда как на средних и крупных реках значительные дождевые паводки формируются при выпадении многодневных осадков.

Оценка многолетних характеристик дождевых паводков выполнена по данным многолетних наблюдений на 241 посту. Подавляющее большинство пунктов наблюдений расположено на сравнительно крупных реках. Малые водотоки плохо освещены наблюдениями (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Распределение количества пунктов наблюдений за дождевым стоком по площадям водосборов

Площадь водосбора, км ²	до 100	101–500	501–1000	1001–5000	5001–10 000	более 10 000	Общее количество
Количество постов	13	35	30	94	37	42	251
% от общего количества	5,2	13,9	12,0	37,5	14,7	16,7	100,0

Наименее изучен сток дождевых паводков малых водосборов, площадью до 100 км². Продолжительность наблюдений за стоком дождевых паводков к 2010 г. в 60 % пунктов составляла более 30 лет. В 20 % случаев продолжительность наблюдений составляет до 15 лет. Наиболее изучены дождевые паводки на реках с площадями водосборов от 1000 до 5000 км². Площади водосборов меньше 5000 км² замыкают 69 % постов наблюдений, при этом 31 % постов замыкают площади водосборов менее 1000 км².

На водотоках бассейна р. Кама повторяемость дождевых паводков составляет от 40 до 85 %, возрастая на 5–7 % на малых водосборах.

Для статистической обработки максимальные расходы и слои стока за паводок принимались без срезки грунтового стока. За дату начала паводка принималась дата, предшествующая заметному подъему кривой на гидрографе стока. За конец паводка принималась дата в конце спада, соответствующая расходу, примерно равному предпаводочному расходу. Объем стока за паводок определялся суммированием среднесуточных расходов воды, начиная с первого дня подъема и кончая последним днем перед датой конца паводка. Объем суммарного стока наибольших дождевых паводков (вместе с грунтовым стоком) на подавляющем большинстве рек с площадями водосборов более 300 км² составляет 15–20 % стока весеннего половодья. На

водотоках, с площадями водосборов менее 300 км² сток дождевых паводков может достигать 20–25 % от стока половодья, (в отдельные годы – до 45 %). Максимальные наблюдаемые слои стока дождевых паводков, как правило, в 4–6 раз превышают средние значения за многолетний период. На некоторых реках в отдельные годы слой стока за паводок может достигать 56 % от стока половодья.

По наблюдаемым величинам максимальных расходов дождевых паводков за период продолжительностью более 30 лет выполнен анализ изменений максимальных расходов за многолетний период. По данным наблюдений не выявлено устойчивой тенденции в изменении максимальных расходов дождевых паводков (увеличения, уменьшения). 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 и слоев стока дождевых паводков. Для аналитического выражения кривых обеспеченности максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков 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 пропусков информации за отдельные годы и приведения коротких рядов наблюдения к многолетнему периоду. Как правило, восстановить пропуски в наблюдениях и удлинить многолетние ряды наблюдений удастся только по данным наблюдений на близко расположенных притоках одной реки или на небольших близко расположенных водосборах. По значительной части пунктов наблюдений (порядка 80 %) 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. Значения параметра (C_s) устанавливалось методом подбора, исходя из лучшего соответствия эмпирических и теоретических кривых распределения. 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.

Характеристики максимальных наблюдаемых расходов дождевых паводков за многолетний период и значения максимальных расходов расчетных обеспеченностей представлены в Приложениях А.9 и А.10.

На основании полученных расчетных характеристик стока рек выполнено построение карт распределения слоя стока дождевых паводков, 1%-ной вероятности превышения, максимальных расходов дождевых паводков 1 % вероятности превышения и коэффициентов вариации. Карты расчетных параметров основных гидрологических характеристик дождевого стока для бассейнов рек Камы представлены на рисунках 7.1, 7.2, 7.3. 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.

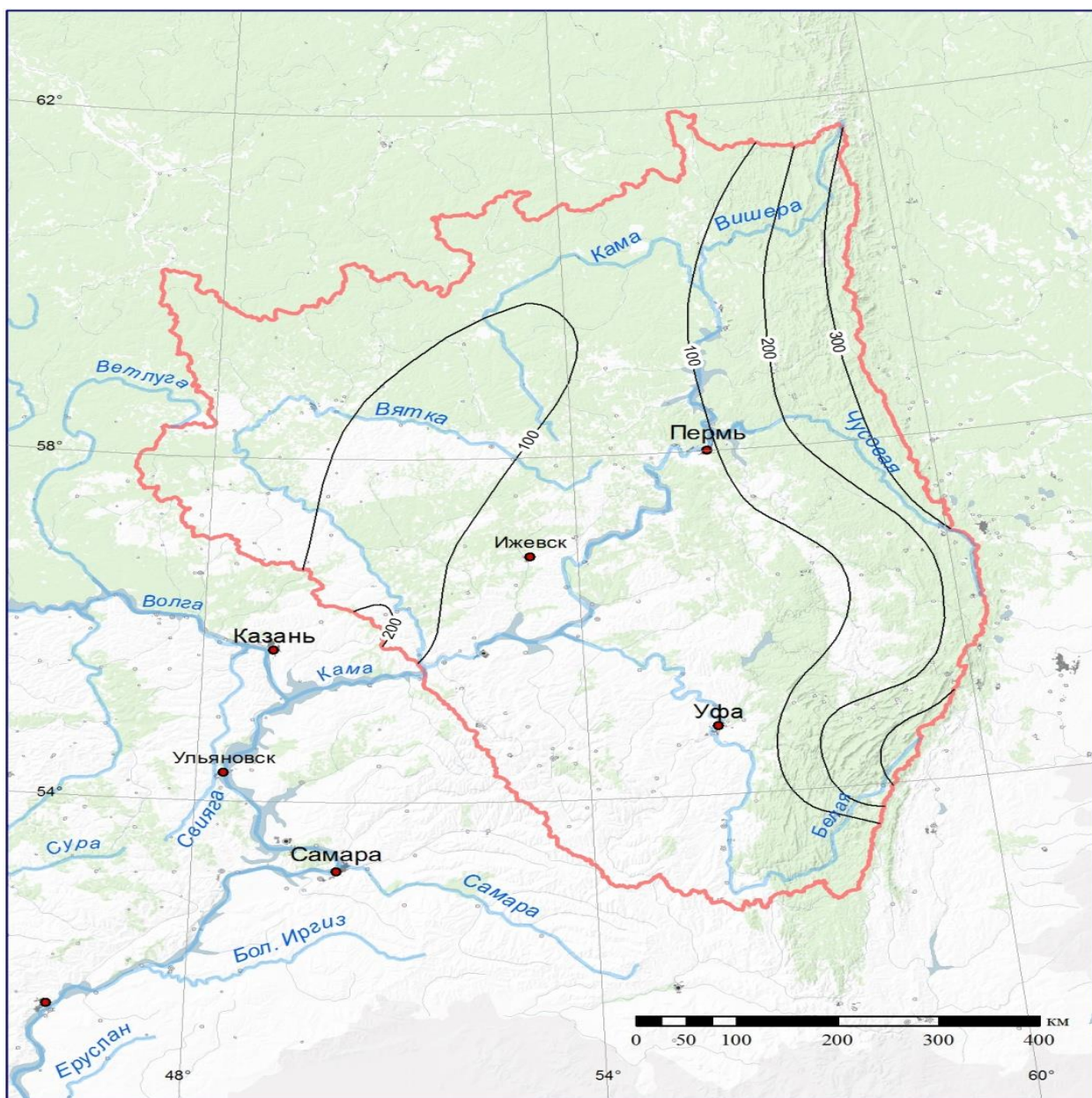


Рисунок 7.1 – Максимальный сток дождевых паводков вероятностью превышения 1 % рек бассейна Камы, л/сек км²

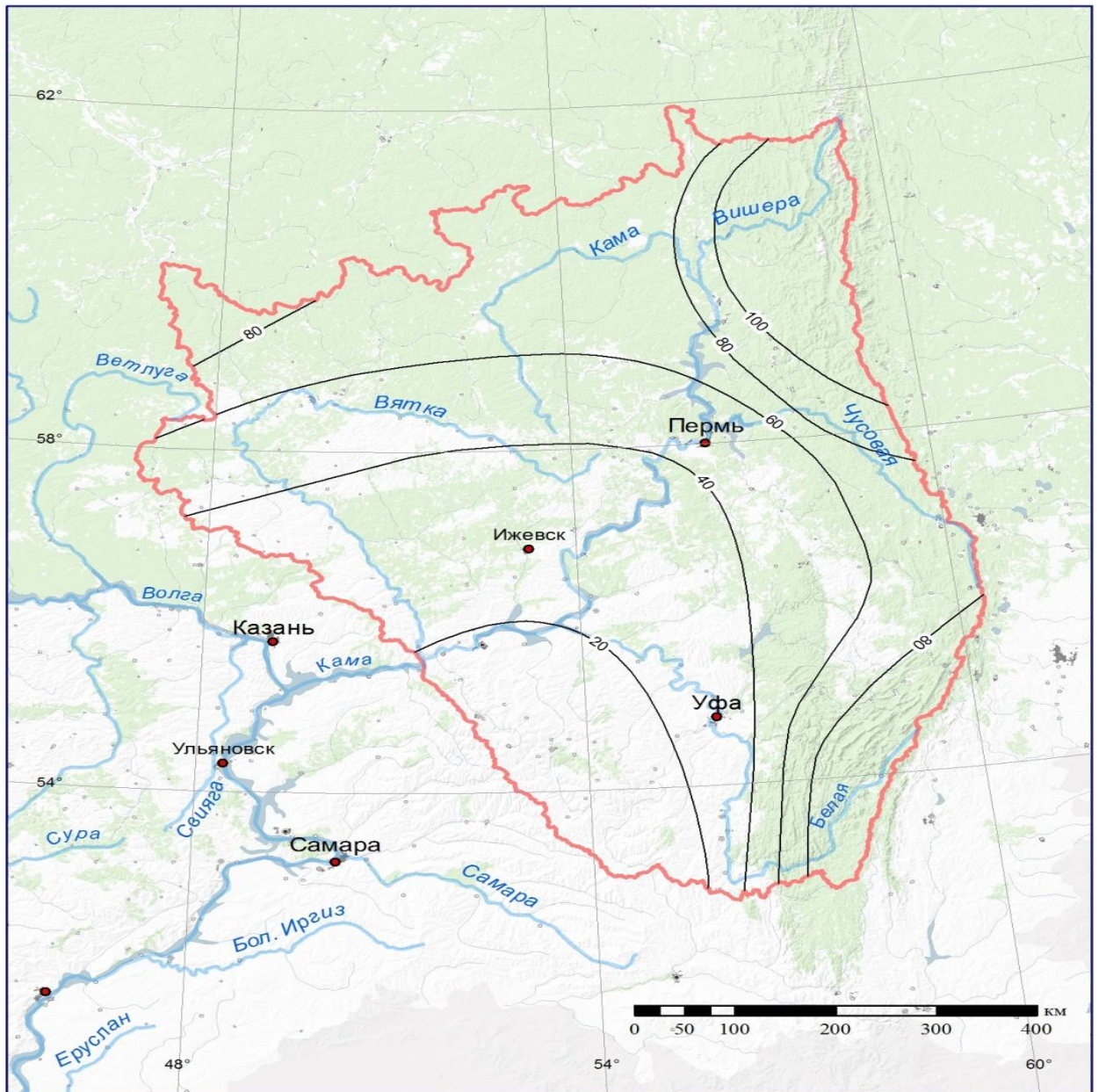


Рисунок 7.2 – Максимальный слой дождевых паводков вероятностью превышения 1 % рек бассейна Камы, мм

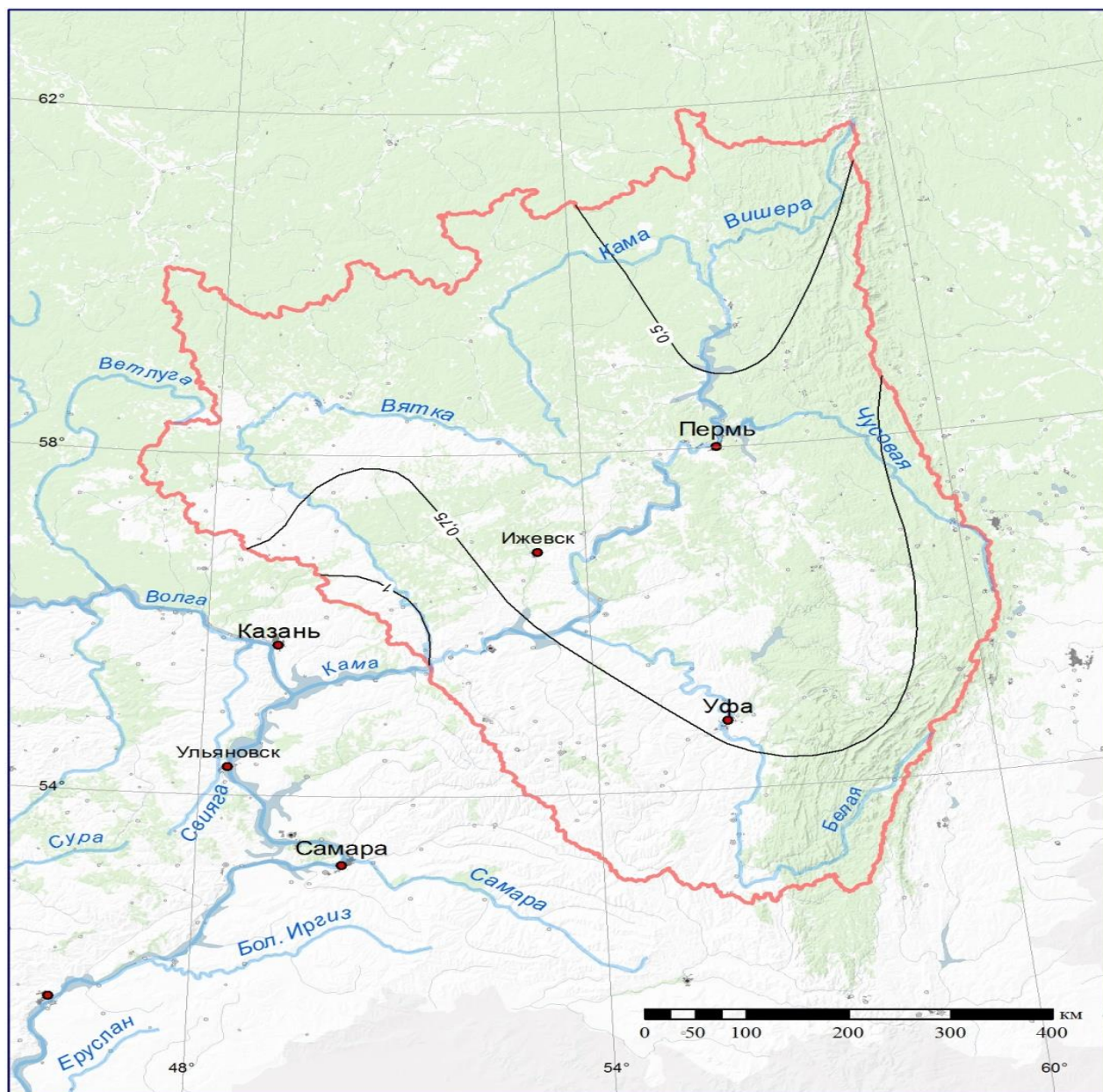


Рисунок 7.3 – Коэффициенты вариации максимального слоя дождевых паводков рек бассейна Камы

8 МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК

8.1 Условия формирования минимального стока

Основными определяющими факторами минимального стока являются климатические и гидрогеологические условия, а также озерность и заболоченность речных водосборов. При прочих равных условиях относительная величина минимального стока в той или иной степени зависит от размера речного бассейна, косвенно характеризующего глубину вреза речного русла и соответственно интенсивность дренирования подземных вод.

Минимальный сток закономерно уменьшается с севера на юг. Рассматриваемой территории принадлежат Волго-Камский артезианский бассейн и юго-восточный склон Московского артезианского бассейна. В артезианских бассейнах эти изменения в значительной мере связаны с уменьшением атмосферных осадков и одновременным увеличением испаряемости.

Основным источником питания подземных вод являются инфильтрационные воды от атмосферных осадков. На отдельных участках происходит подпитывание водоносных горизонтов более глубокими напорными водами. В местах развития карста в питании подземных вод часто принимают участие русловые воды. Степень участия отдельных источников питания определяется помимо гидрологических факторов, климатическими условиями, в первую очередь характером осадков. Осадки теплого периода имеют существенное значение в питании подземных вод западного склона Урала, где они обеспечивают высокие расходы в меженный период.

На юге рассматриваемой территории при переходе к зоне недостаточного увлажнения роль жидких осадков в питании водоносных горизонтов становится незначительной, так как основная часть осадков теплого периода года расходуется на испарение; пополнение подземных вод через зону аэрации происходит лишь в течение короткого периода снеготаяния.

Примыкающая с запада к горному Уралу равнина (восточная часть Русской плиты в границах бассейна р. Кама) в гидрогеологическом отношении принадлежит к краевой части Волго-Камского артезианского бассейна, а также включает систему бассейнов трещиновато-карстовых вод Уфимского плато. В пределах артезианских бассейнов в толще осадочных пород распространены грунтово-трещинные и трещинно-пластовые воды как безнапорные, так и напорные. Подземные воды приурочены к зоне свободного водообмена, мощность которой меняется в широких пределах в зависимости от глубины эрозионного вреза. Питание водоносных горизонтов осуществляется за счет инфильтрации осадков, а также разгрузки подземных вод из горноскладчатой области.

Наилучшие условия питания подземных вод и величины подземного тока связаны с положительными элементами рельефа: Бугульминско-Белебеевской и Верхнекамской возвышенностями, Уфимским плато, Вятскими увалами. Наиболее интенсивное подземное

питание наблюдается в бассейне р. Вишеры, на отдельных участках р. Чусовая. Окраинные части территории характеризуются более низкими значениями подземного притока в реки, вследствие уменьшения количества осадков и вреза гидрографической сети, распространения менее водоносных осадочных пород.

Отрицательное влияние на зимний сток, особенно в зимний период, оказывают маловодопроницаемые плотные кристаллические породы, не способствующие созданию устойчивых запасов подземных вод. Наиболее заметно это проявляется на стоке малых рек. Например, по этой причине средняя величина минимального месячного зимнего стока р. Куся примерно в 2 раза меньше зонального.

В пределах равнинной территории повышенным минимальным стоком отличаются реки в районах распространения легких разновидностей почвогрунтов (супесей и песков), в частности в средней части бассейна р. Вятка, для которых характерна относительно большая величина подземных вод. Несколько пониженные значения минимального стока наблюдаются при преобладании на водосборах плотных моренных суглинков (реки Коса, Уролка, Иньва и др.)

Под влиянием болот минимальный сток снижается как в летний, так и в зимний период. Более значительное понижение стока зимой связано с промерзанием верхнего деятельного слоя болот. Наиболее заболоченной является северная часть территории.

Краткая характеристика межени

Летне-осенняя межень обычно наступает в середине июня и заканчивается в октябре. Длительная устойчивая межень в теплую часть года типична лишь для рек южных лесостепных районов. На севере лесной зоны и в горных областях межень нередко прерывается дождевыми паводками. Средняя продолжительность межени изменяется от 140–150 дней в лесостепных районах до 60–70 дней на севере равнинной территории и в горах. По годам она колеблется соответственно от 100–120 до 180 и от 10–20 до 100–130 дней. В целом продолжительность летне-осенней межени находится в обратной зависимости от высоты водосборов и от общей водности рек. Летом водность рек обычно больше зимней. В бассейне р. Кама сток за период летне-осенней межени в среднем превышает сток за зимнюю межень примерно в 1,5 раза. Наиболее маловодными реки обычно бывают в августе, но иногда и в июне или в сентябре – октябре.

Своеобразным является режим карстовых рек в межень. На малых карстовых водотоках ($F < 100 \text{ км}^2$) нередко прекращается сток в летне-осенний сезон из-за больших потерь стока на фильтрацию как на водосборе, так и в русле. В некоторых случаях период пересыхания распространяется на зиму, продолжаясь до весны следующего года.

Зимняя межень устанавливается в среднем во второй половине ноября. Начало ее определяется сроками появления ледяных образований, а при наличии осенних дождевых паводков в предзимний период сроками их окончания. Продолжительность межени составляет

140–160 дней. Средний расход воды в зимнюю межень примерно в 1,5 раза превышает величину суточного минимума (исключая перемерзающие реки).

Средняя продолжительность наиболее маловодной части межени, в течение которой расходы превышают суточный минимум не более чем на 10 %, колеблется от 3–7 до 50 дней.

К востоку от бассейна р. Вятка, а также в пределах бассейна р. Белая отмечается прекращение стока на малых водотоках в результате их промерзания. В северных равнинных районах зимой наблюдается прекращение стока на реках с сильно заболоченными водосборами из-за резкого уменьшения притока грунтовых вод, связанного с промерзанием деятельного слоя болота.

Определение минимального стока. Применительно к расчетам минимального стока за основную характеристику 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 Камы 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 Приложениях 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 рек. Анализ данных наблюдений о минимальном стоке выполнен по 233 постам с площадями водосборов от 1,99 км² (р. Ключи – д. Б. Перелаз) до 124 000 км² (р. Вятка – г. Вятские Поляны). Период наблюдений на постах составляет от 2 лет (р. Межник – д. Заберезник) до 132 лет (р. Вятка – г. Киров). Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км², средняя продолжительность наблюдений на которых составляет 44 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 38 лет.

Минимальный суточный летне-осенний сток рек. Анализ исходных данных по 269 постам показал, что период наблюдений за минимальными суточными расходами воды составляет от 3 лет (р. Тулва – д. Александровка) до 132 лет (р. Вятка – г. Киров). Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км². Средняя продолжительность наблюдений на таких реках составляет 47 лет. Для рек с площадью водосбора 100–2000 км² средняя продолжительность периода наблюдений равна 19 годам, а для рек с площадью водосбора менее 100 км² – 26 годам.

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 85 лет, а длина рядов увеличилась в среднем на 44 года.

8.2.2 Однородность и стационарность

В соответствии с [4, 8] 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 выполнена по 210 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 58 % случаев, по критерию Фишера – в 48 %.

Оценка однородности рядов минимального суточного стока рек выполнена по 217 рядам наблюдений. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 63 % случаев, по критерию Фишера – в 55 % случаев.

Нестационарность временных рядов связана с изменением климатических условий формирования минимального стока рек. Анализ многолетних колебаний минимального стока рек бассейна Камы свидетельствует о появлении положительных трендов в рядах минимальных расходов воды с 70-х гг. прошлого века. С 1978 по 2010 г. увеличение нормы минимального 30-суточного летне-осеннего стока рек относительно предыдущего периода составило в среднем около 50 % (рисунок 8.1). Величина изменения стока неодинакова и по территории, что связано с физико-географическими и гидрогеологическими особенностями водосборов. Наиболее

значительное увеличение минимального отмечают в бассейнах рек Ик, Чепца, Быстрица, Молома и др.

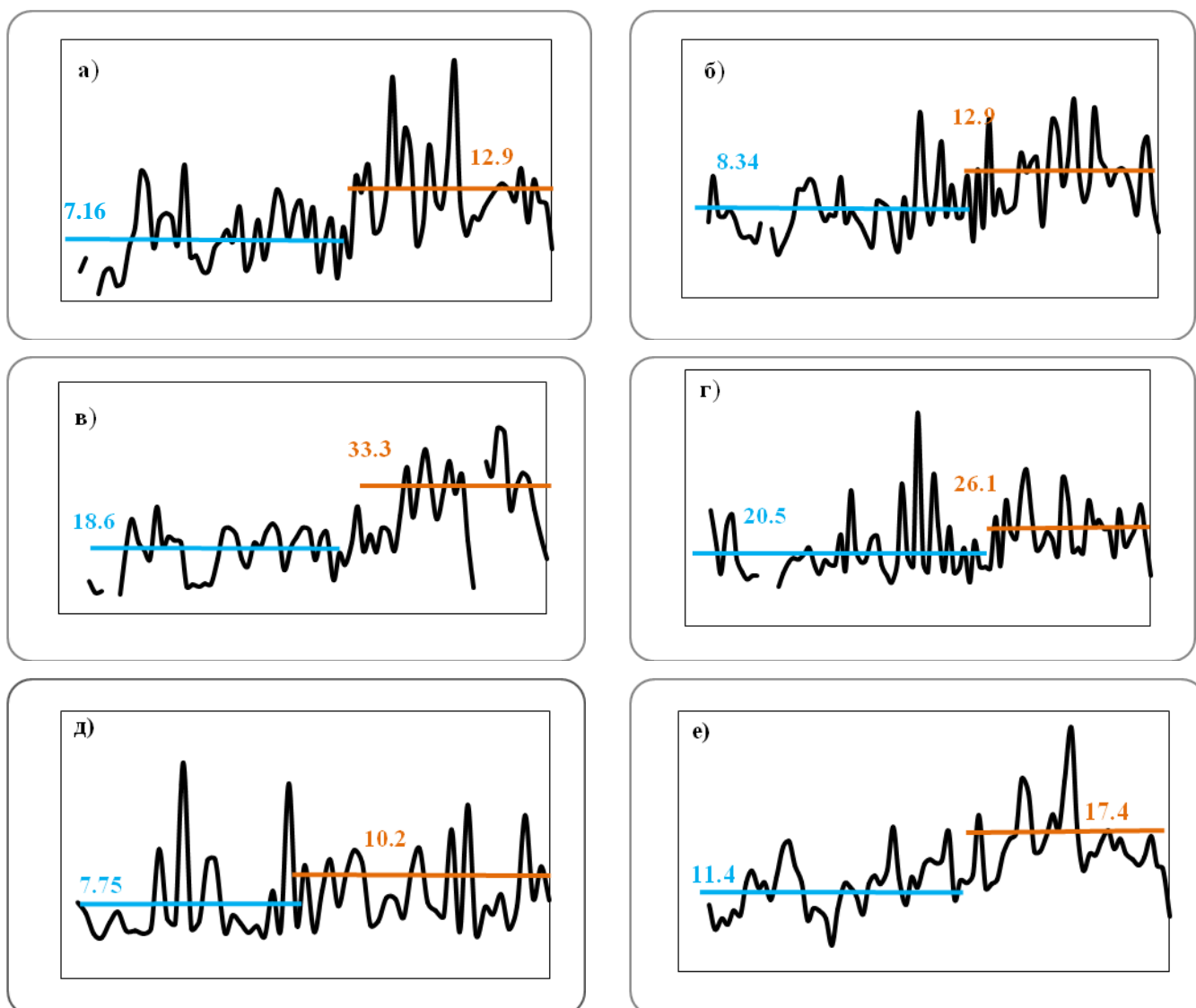


Рисунок 8.1 – Многолетние изменения минимальных летне-осенних 30-суточных расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Камы

Горизонтальными линиями показаны средние значения за периоды до (синий цвет) и после 1978 г. (красный цвет): а) р. Чепца – с. Полом ($F = 5930 \text{ км}^2$); б) р. Быстрица – д. Шипицино ($F = 3540 \text{ км}^2$); в) р. Ик – с. Нагайбаково, ($F = 12\,300 \text{ км}^2$); г) р. Молома – д. Спасское ($F = 10\,500 \text{ км}^2$); д) р. Великая – с. Великорецкое ($F = 3410 \text{ км}^2$); е) р. Быстрый Танып – д. Алтаево, ($F = 4860 \text{ км}^2$)

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 км^2 . Рост нормы минимального 30-суточного стока таких рек в летнюю межень составил более 72 %. На реках площадью водосборов более 6000 км^2 минимальные расходы рек в теплый период года выросли почти на 40 %.

Рост минимального стока рек сказался на увеличении числа меженных максимумов в последние десятилетия. При этом меженные минимумы на многих реках остались прежними, зафиксированными до 1978 г. Увеличение меженного стока последних десятилетий в многолетних рядах данных сопровождалось увеличением вариации этой характеристики. Сравнение коэффициентов вариации минимального стока показало их рост C_v по сравнению с периодом до 1978 г. Например, C_v минимального 30-суточного летне-осеннего стока для р. Вала – с. Вавож за период с 1952 по 1978 г. составлял 0,41, за весь период наблюдений с 1952 по 2010 г. $C_v = 0,51$; для р. Ик – с. Нагайбаково за период с 1935 по 1978 г. $C_v = 0,37$, за период с 1935 по 2010 г. $C_v = 0,48$.

8.2.3 Расчетные параметры распределения

По всем рядам наблюдения, включая приведенные к многолетнему периоду, определены параметры кривых распределения вероятностей превышения. Для однородных рядов при расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности использованы аналитические кривые обеспеченности (распределение Крицкого – Менкеля или распределение Пирсона III типа), а при неоднородных рядах расчет значений стока различной обеспеченности проводился по составным кривым распределения [4,8].

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

Минимальный 30-суточный сток рек. Модуль минимального 30-суточного расхода воды изменяется по территории водосбора Камы от 0,6 (р. Шукралинка – с. Орловка $F = 300 \text{ км}^2$) до 11,5 л/сек км^2 (р. Вишера – д. Митраково $F = 10\,500 \text{ км}^2$). Средняя квадратическая погрешность его расчета составляет 6 % и находится в пределах 5–15 %. Коэффициенты вариации колеблются в широких пределах от 0,5 до 1,4, при средней погрешности расчета 15 % и ее колебаниях в пределах 10–20 %.

Оценки коэффициента асимметрии не дают устойчивого соотношения C_s/C_v , значения которого колеблются в широких пределах от –2 до 6, для 40 % 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. Наибольшее соотношение C_s/C_v характерно для северо-западной части территории, на это соотношение существенное влияние оказывают гидрогеологические условия. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,35, изменяясь от 0,02 до 0,90.

Минимальный суточный сток рек. Модуль минимального суточного расхода воды изменяется от 0,5 л/сек км^2 (р. Боровка – с. Боровка $F = 59 \text{ км}^2$) до 8,8 л/сек км^2 (р. Вишера –

д. Писанная $F = 8560 \text{ км}^2$). Среднеквадратическая погрешность его расчета находится в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,2 до 1,3 при погрешности расчета 10–20 %. Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от –2 до 6, в половине случаев – от 1 до 2,5. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для рек со сложными гидрогеологическими условиями формирования стока. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,42, изменяясь от 0,02 до 0,92.

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 рядов наблюдений, применения более широкого спектра статистических методов обработки данных.

8.3 Минимальный зимний сток

8.3.1 Исходные данные

Исходными данными для расчетов значений минимального стока рек бассейна Камы заданной обеспеченности послужили ежегодные данные о минимальном 30-суточном и суточном зимнем 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 Приложениях А.13 и А.14.

Минимальный 30-суточный зимний сток рек. Всего в рассматриваемом районе наблюдения за минимальным стоком выполнялись на 241-му посту с площадями водосборов от $1,99 \text{ км}^2$ (р. Ключи – д. Б. Перелаз) до $124\,000 \text{ км}^2$ (р. Вятка – г. Вятские Поляны).

Период наблюдений на постах составляет от 1 года (р. Мензеля – д. Шарлиарема) до 132 лет (р. Вятка – г. Киров). Наиболее изученными являются реки с площадью водосбора более 2000 км^2 , средняя продолжительность наблюдений на которых составляет 43 года. Средняя продолжительность периода наблюдений на малых реках с площадью водосбора менее 100 км^2 равна 18 годам.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах было выполнено приведение коротких рядов минимальных расходов к многолетнему периоду. В результате средняя продолжительность рядов характеристик минимального стока составила 59 лет, а длина ряда увеличилась в среднем на 17 лет.

Минимальный суточный зимний сток рек. Анализ исходных данных по 241-му посту показал, что период наблюдений за минимальными расходами воды составляет от 2 лет (р. Зиган – д. Зигановка) до 132 лет (р. Вятка – г. Киров). Наиболее изученными являются реки с площадью

водосбора более 2000 км², средняя продолжительность рядов наблюдений на которых составляет 39 лет. Для рек с площадью водосбора 100–2000 км² средняя продолжительность периода равна 30 годам, а для рек с площадью водосбора менее 100 км² – 17 годам.

По данным продолжительных наблюдений в гидрометрических створах было выполнено приведение коротких рядов минимальных расходов к многолетнему периоду. В результате продления средняя продолжительность рядов наблюдений составила 71 год, а длина ряда увеличилась в среднем на 30 лет.

8.3.2 Однородность и стационарность

Оценка однородности рядов минимального 30-суточного стока рек выполнена по 130 рядам наблюдений. По результатам анализа выявлено значительное число рядов минимального стока, неоднородных по среднему и дисперсии. Гипотеза о неоднородности рядов подтверждается по критерию Стьюдента – в 80 % случаев, по критерию Фишера – в 60 %.

Оценка однородности рядов минимального суточного стока рек рассчитана по 217 рядам наблюдений. Гипотеза о неоднородности рядов подтвердилась по критерию Стьюдента – в 81% случаев, по критерию Фишера – в 62 % 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. на 30–70 %. Наибольшее увеличение произошло на реках Ай, Ик, Быстрый Танып, Чепца и др. (рисунок 8.2). Увеличение минимального зимнего стока связано с повышением средней зимней температуры воздуха по всей территории бассейна Камы за последние 35–40 лет по отношению к предыдущему периоду.

8.3.3 Расчетные параметры распределения

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

Расчетные параметры и значения минимальных расходов воды заданной вероятности превышения от 50 до 98 %, представлены в таблицах Приложений А.13, А.14.

Минимальный 30-суточный зимний сток рек. Модуль минимального 30-суточного расхода воды для рек данного бассейна изменяется от его нулевых значений на перемерзающих водотоках (р. Омелевка – с. Полдневая $F = 6,5 \text{ км}^2$) до 19 л/сек км² (р. Белая Холуница – с. Ильинка $F = 277 \text{ км}^2$). Среднеквадратическая погрешность его расчета находится в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,2–1,1, при погрешности расчета 5–25 %. Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от -1 до 6. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для северной части территории,

на это соотношение существенное влияние оказывают гидрогеологические условия. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,5. Из-за различных условий формирования минимального стока по территории бассейна Камы коэффициент автокорреляции значительно меняется.

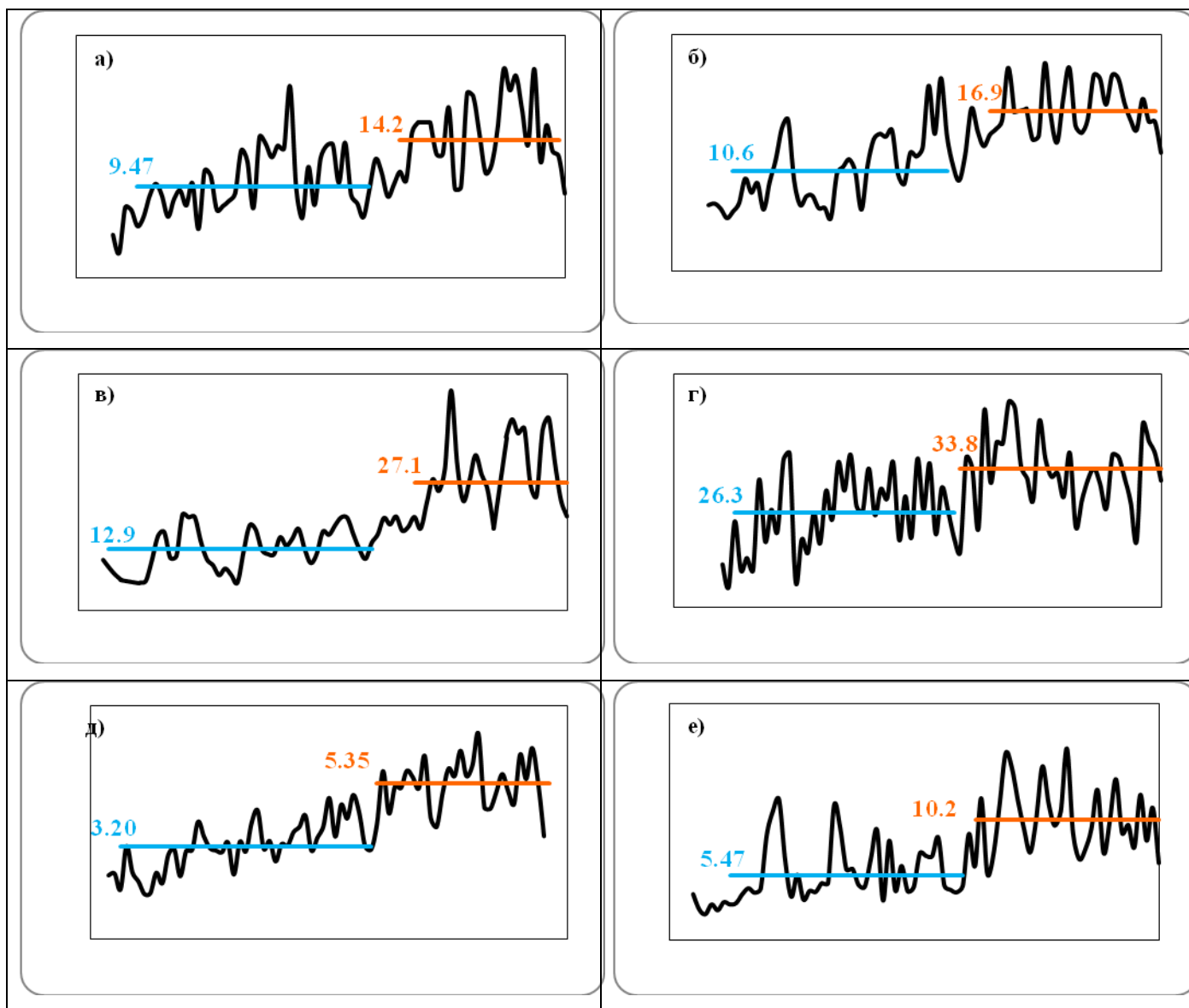


Рисунок 8.2-Многолетние изменения минимальных зимних 30-суточных расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) для рек бассейна Камы

Горизонтальными линиями показаны средние значения за периоды до (синий цвет) и после 1978 г. (красный цвет): а) р. Ай – с. Лаклы ($F = 6440 \text{ км}^2$); б) р. Быстрый Танып – д. Алтаево ($F = 4860 \text{ км}^2$); в) р. Ик – с. Нагайбаково ($F = 12\,300 \text{ км}^2$); г) р. Вятка – д. Усатьевская ($F = 16\,500 \text{ км}^2$); д) р. Летка – с. Казань ($F = 2870 \text{ км}^2$); е) р. Чепца – с. Полом ($F = 5930 \text{ км}^2$)

Минимальный суточный зимний сток рек. Значение модуля минимального суточного расхода воды для рек данного бассейна изменяется от его нулевых значений на перемерзающих водотоках (р. Омелевка – с. Полдневая $F = 6,5 \text{ км}^2$) до $16,9 \text{ л/сек км}^2$ (р. Белая Холуница – с. Ильинка $F = 277 \text{ км}^2$). Среднеквадратическая погрешность его расчета находится в пределах 5–20 %. Коэффициенты вариации изменяются от 0,1–1,3 при погрешности расчета 5–25 %.

Соотношение коэффициентов вариации и асимметрии по территории всего района меняется от -1 до 6. Наибольшая асимметричность кривых распределения характерна для северной части территории, на это соотношение существенное влияние оказывают гидрогеологические условия. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,5. Из-за различных условий формирования минимального стока по территории бассейна Камы коэффициент автокорреляции значительно меняется.

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 и применения более широкого спектра статистических методов обработки данных.

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 Камы 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 3.6.

Минимальный 30-суточный летне-осенний сток уменьшается на равнинной территории с севера на юг, а на горной – с востока на запад и аномально увеличивается в карстовых районах. Области повышенного минимального стока приурочены к районам возвышенностей, пониженного – к низменностям. Наиболее благоприятными условиями питания подземных вод и формирования минимального стока рек характеризуются Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Уфимское плато и Северные увалы. Слабо разработанные долины рек, небольшие эрозионные врезы русел обуславливают низкие значения модулей минимального стока в районах низменностей (долины реки Камы и ее притоков).

Наибольших значений минимальный сток достигает в северной горной части водосбора Камы и в пределах хорошо увлажненных участков западного склона Южного Урала. Общему повышению подземного стока в Приуралье благоприятствуют орографические (большая расчлененность местности), гидрогеологические (закарстованные и трещиноватые породы) и

климатические (орографическое увеличение осадков) условия. Наиболее интенсивное подземное питание наблюдается в бассейне р. Вишера (7–12 л/сек км²), на отдельных участках водосбора р. Чусовая (4,0–4,5 л/сек км²) и в пределах Уфимского плато. Западная окраина Уфимского плато (правобережье р. Уфа) отличается относительной бедностью верхней части карстующихся массивов поверхностными и подземными водами. Питание из карстовых источников получают реки Яманелка и Сарва. Величины подземного стока в процентах от общего речного на участках Уфимского плато составляют 40–50 % и более.

На большей части Волго-Уральской антеклизы, где дренируются водоносные горизонты пермских отложений, минимальные модули стока изменяются от 2,0 до 0,3 л/сек км², увеличиваясь в местах развития закарстованных пород. На отдельных участках рек западного Урала их воды поглощаются карстовыми каналами и выходят в русло ниже по течению (р. Косьва, р. Вижай). В северной части Волго-Уральской антеклизы (бассейны р. Вятка) минимальный сток характеризуется от 3 до 1,5 л/сек км².

Повышенный минимальный сток р. Весляна (≈ 4 л/сек км²) объясняется устойчивым подземным питанием водами флювиогляциальных песчаных толщ. В равнинной части бассейна Камы величины стока уменьшаются от 3–3,5 л/сек км² на севере до ≈ 1 л/сек км² на юге.

Средние значения коэффициента вариации минимального 30-суточного летне-осеннего стока для территории 0,4–0,5. Наибольшие величины C_v отмечаются на юго-востоке 0,6–0,7.

Минимальный 30-суточный зимний сток изменяется по территории в меньших пределах, чем летний. В наиболее увлажненной части Западного Урала средняя величина минимального 30-суточного зимнего стока 80%-ной вероятности превышения достигает 3–4 л/сек км² (бассейн р. Вишера). На большей части бассейна Камы она составляет 1–1,5 л/сек км². Низкие модули минимального стока отмечаются в бассейне р. Ашкадар (до 0,15 л/сек км²).

Наибольшие отклонения от величин зонального стока в горной и предгорной области связаны с явлением карста, особенно в районах развития водоносных трещинных узлов и зон. Вследствие значительной регулирующей способности карста минимальный сток карстовых рек, как правило, повышен.

Отрицательное влияние на минимальный сток рек, особенно в зимний период, оказывают маловодопроницаемые плотные кристаллические породы, не способствующие созданию устойчивых запасов подземных вод даже в районах избыточного увлажнения горного Урала. Наиболее заметно это проявляется на стоке малых рек. Малыми модулями зимнего стока отличаются верхние течения рек Нугуш, Малого Инзера, Юрюзани, Белой.

В пределах равнинной территории повышенным минимальным стоком отличаются реки в районах распространения легких разновидностей почвогрунтов (песков и супесей), в частности в

средней части бассейна р. Вятка, для которой характерна относительно большая величина стока подземных вод.

Изменчивость минимального зимнего стока увеличивается с севера на юг от 0,3 до 0,8. Значениями коэффициента вариации $C_v = 0,3-0,4$ характеризуются водотоки западной части бассейна реки Камы, значениями $C_v = 0,5-0,7$ водотоки юго-западной части.

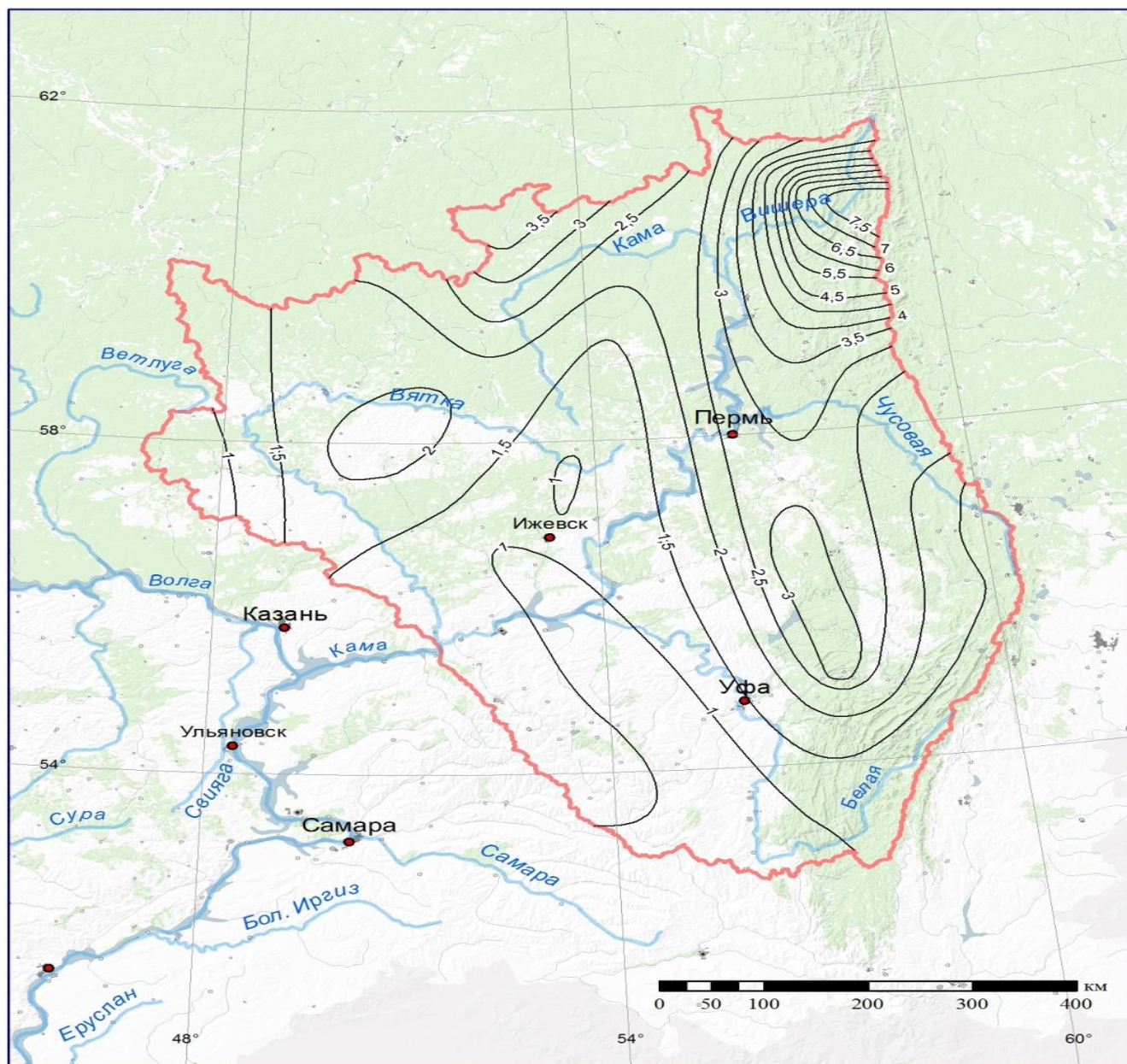


Рисунок 8.3 – Минимальный 30-суточный летне-осенний сток вероятностью превышения 80 % рек бассейна Камы, л/сек км²

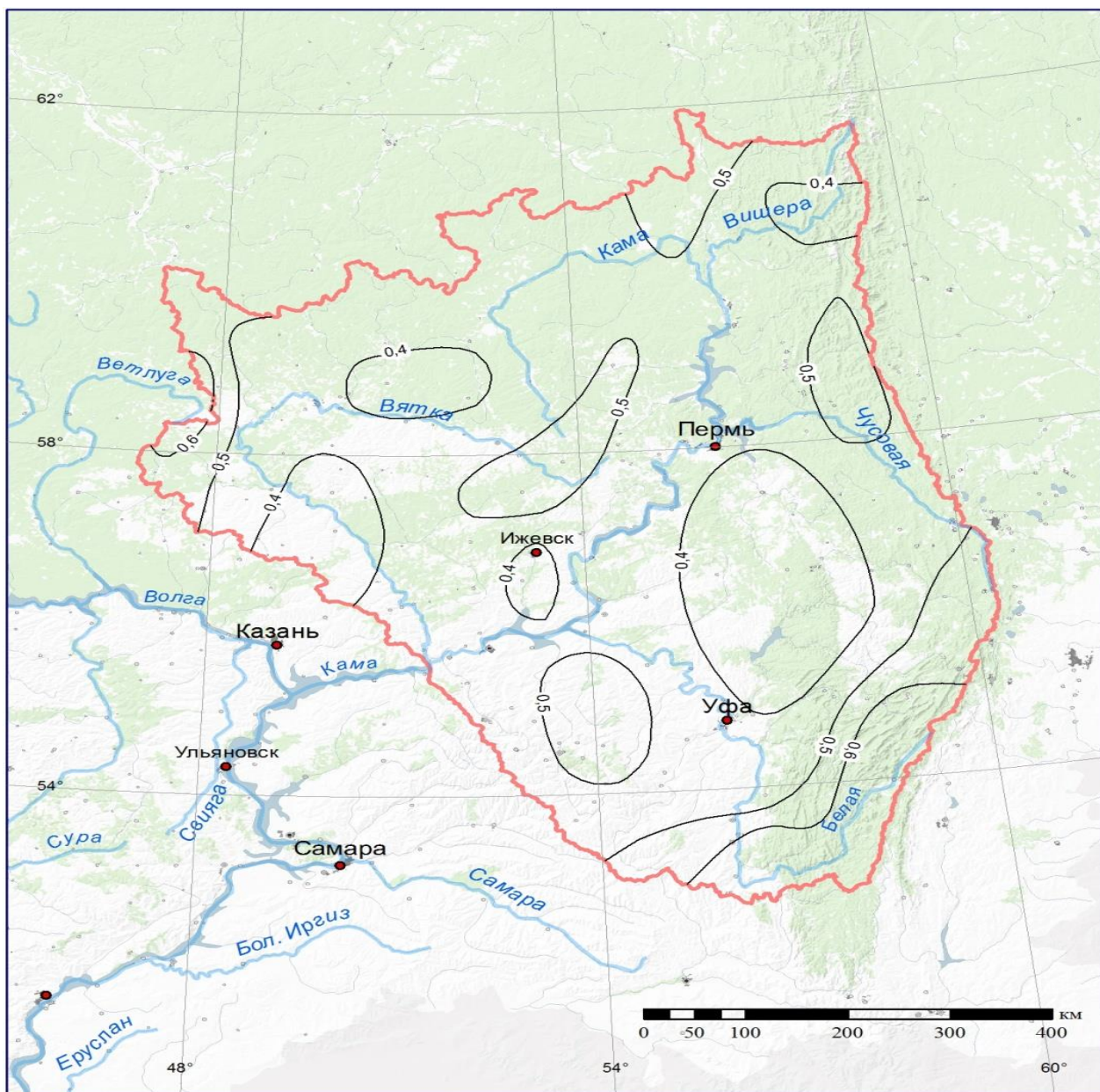


Рисунок 8.4 – Коэффициенты вариации минимального 30-суточного летне-осеннего стока рек бассейна Камы

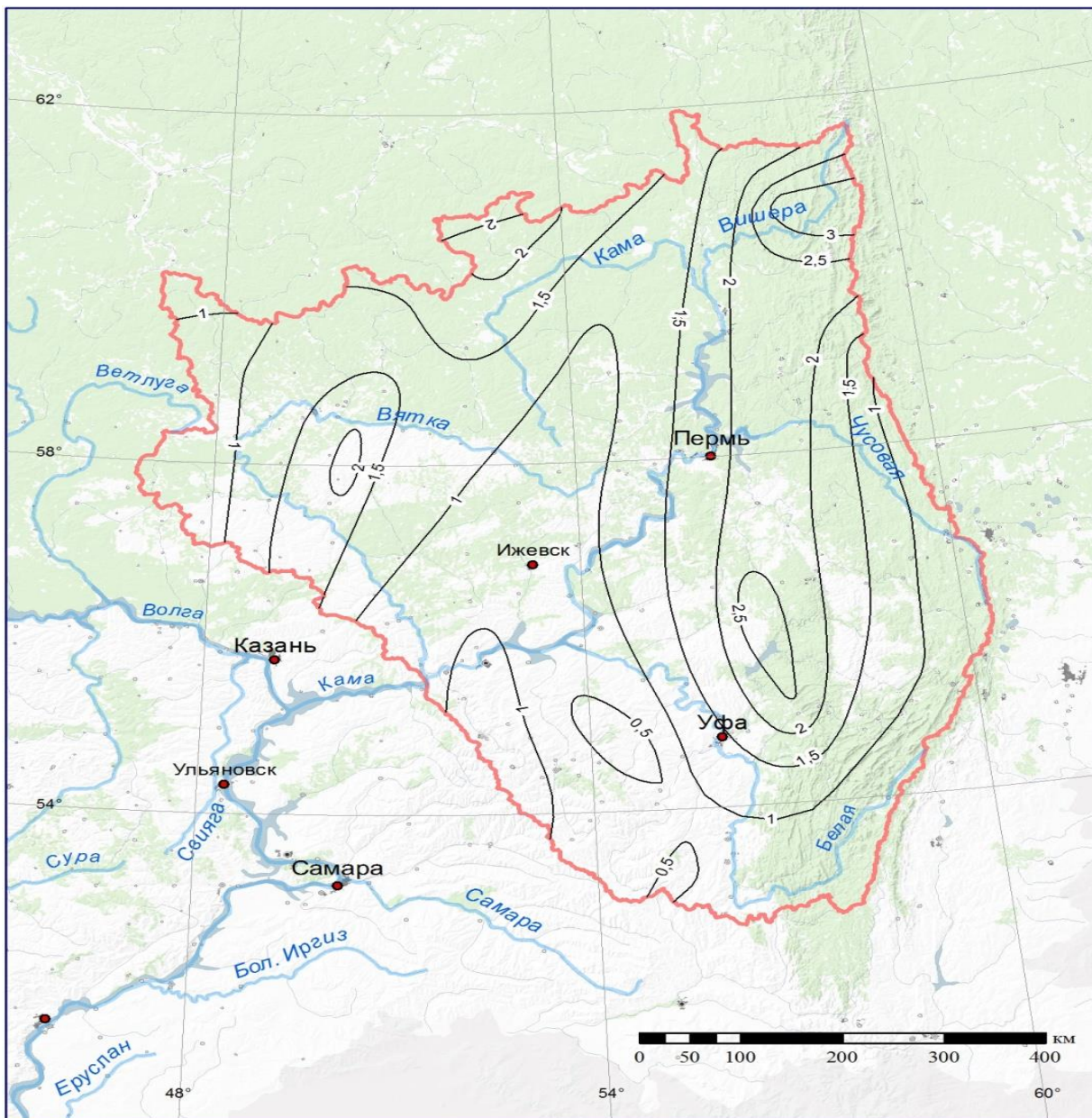


Рисунок 8.5 – Минимальный 30-суточный зимний сток вероятностью превышения 80 % рек бассейна Камы, л/сек км²

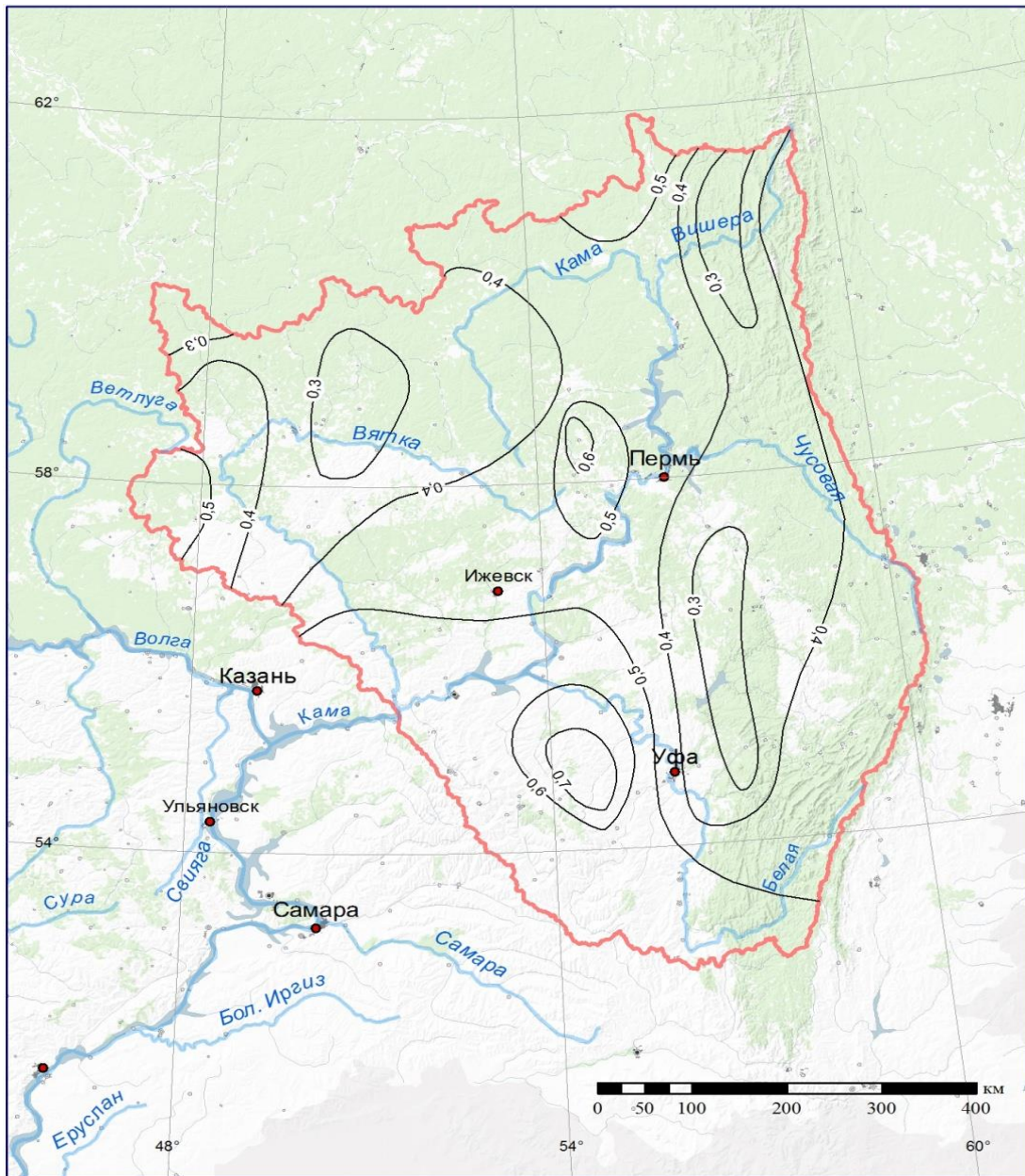


Рисунок 8.6 – Коэффициенты вариации минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна Камы

9. РАЙОНИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ БАСЕЙНА КАМЫ ПО СООТНОШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА

Районирование рек бассейна Камы с применением методики групповой оценки соотношения коэффициентов асимметрии и вариации согласно [4, 5, 53–54, 58] осуществлено для максимального стока весеннего половодья. Для этой цели использованы данные по максимальному стоку рек в период половодья по 121 гидрологическому посту.

Так как выборочная оценка коэффициента асимметрии имеет отрицательное смещение, повышающееся с увеличением коэффициента асимметрии, коэффициента корреляции между смежными членами ряда и уменьшающееся с увеличением объема выборки, то для устранения смещения использовалась формула:

$$\tilde{C}_s = \frac{n + 5 + 2C_v(1 + C_v^2)}{n} C_s \quad (9.1)$$

Соответственно было определено и новое соотношение $\frac{\tilde{C}_s^*}{C_v}$, а также его стандартная ошибка (таблица 9.1) по формуле:

$$\sigma\left(\frac{\tilde{C}_s^*}{C_v}\right) = \frac{1}{C_v \sqrt{n}} \sqrt{6 + 26C_s^2 + 24C_v^4} \quad (9.2)$$

Для решения вопроса о возможности объединения гидрологических постов в районы использовалась методика совместного анализа данных.

На карту схему расположения гидрологических постов были нанесены рассчитанные значения отношения $\frac{\tilde{C}_s^*}{C_v}$ и выполнено первичное разбиение на районы с учетом физико-географических особенностей территории. Затем границы районов уточнялись с использованием критериев (3.1–3.3 раздела 3).

На рисунке 9.1 приведена карта районов по соотношению C_s/C_v для максимального стока весеннего половодья. Рассчитанные параметры максимального стока весеннего половодья по объединенной совокупности приведены в таблице 9.1

Таблица 9.1 – Параметры максимального стока весеннего половодья объединенной совокупности

№ района	Число постов в районе	Cs/Cv среднее	Дисперсия			
			полная	случайная	географическая	для объединенной совокупности $\varepsilon_{об.}^2$
1	8	3,946	2,895	1,474	1,420	1,60463
4	38	3,007	1,636	0,987	0,649	0,67507
5	38	1,779	1,323	1,516	0,000	0,03989
6	15	4,063	1,881	1,796	0,085	0,20488

7	15	3,022	0,893	1,896	0,000	0,12637
8	17	0,976	0,314	1,745	0,000	0,12466
9	13	2,343	2,099	1,762	0,337	0,47275

В бассейне реки Камы по соотношению Cs/Cv выделено 7 однородных районов. Схема районов приведена на рисунке 9.1.

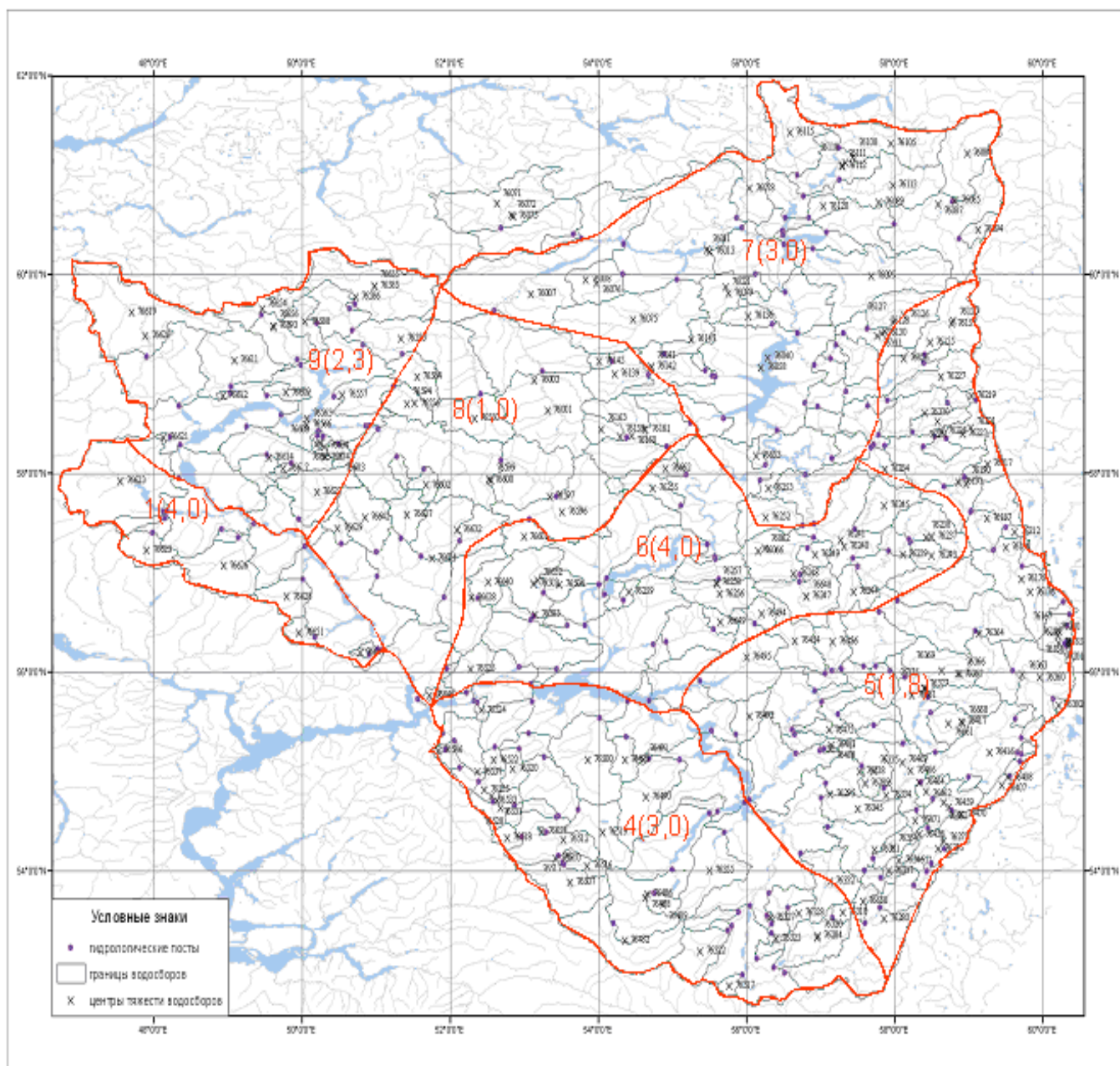


Рисунок 9.1 – Районирование рек бассейна Камы по соотношению Cs/Cv

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенном научно-прикладном справочнике проанализирована и обобщена информация по основным гидрологическим характеристикам (годовой сток и внутригодовое распределение, максимальный сток и слои весеннего половодья, максимальный сток дождевых паводков, минимальный сток за зимний и летний периоды) по данным гидрометрических наблюдений от их начала до 2010 год по 241 гидрологическим постам. Пропуски в наблюдениях были восстановлены и выполнено приведение исходных данных к многолетнему периоду.

Многолетние ряды данных были проанализированы на однородность и стационарность по статистическим критериям, адаптированным к гидрологической информации, с учетом асимметрии и внутри рядной связанности рядов (автокорреляции).

В результате было установлено:

- многолетние изменения годового стока рек бассейна Камы не противоречат гипотезе стационарности и находятся в пределах естественной изменчивости;

- значительная часть рядов максимального стока и слоев весеннего половодья являются неоднородными. По критериям Стьюдента и Фишера неоднородность выявлено соответственно для 38 % и 41 % всех рядов максимального стока и для 23 % и 19 % рядов слоев весеннего половодья. Значительное снижение весеннего стока в последнее десятилетие происходит на реках равнинной части бассейна Камы, включающей бассейны левобережных притоков Нижней Камы, бассейна средней части и притоков нижней части р. Белая;

- гипотеза о неоднородности рядов минимального 30-суточного зимнего стока рек подтвердилась по критерию Стьюдента в 80 % случаев, по критерию Фишера в 60 %. Аналогичные оценки получены и для минимального суточного стока рек.

- гипотеза о неоднородности рядов минимального 30-суточного летне-осеннего стока подтвердилась в 58 % и 48 % случаев по критериям Стьюдента и Фишера, а рядов минимального суточного стока соответственно в 63 % и 55 % случаев.

Главной причиной неоднородности является начавшееся с середины 70-х гг. 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 [45]. 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 почвогрунтов;
- снижение объема стока, аккумулируемого в ледяном покрове рек;
- увеличение дренирующей способности гидрографической сети при увеличении ее пропускной способности в результате уменьшения толщины ледяного покрова [59].

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. Выполнены исследования по совершенствованию методики групповой оценки параметров распределения гидрологических характеристик с учетом географической и случайной составляющей для соотношения коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации максимального стока весеннего половодья рек.

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, фиксации 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.: НИА-Природа, 2009, 40 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11 Средний Урал и Приуралье / Л., Гидрометеоздат, 1973, 848 с.
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, 73 с.
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. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Погода на территории Российской Федерации в 2010 году // Бюллетень текущих изменений климата. Официальный сайт ВНИИГМИ-МЦД Интернет-ресурс www.meteo.ru. 2011.
11. Атлас СССР / М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983, 260 с.
12. Спиридонов А. И. Геоморфология Европейской части СССР / М.: Высшая школа, 1978, 335 с.
13. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей / С. С. Воскресенский, О. К. Леонтьев, А. И. Спиридонов и др. М.: Высшая школа, 1980, 343 с.

14. Илларионов А. Г. Геоморфологическое районирование Вятско-Камского междуречья // Вестник УдГУ, 2003. Вып. 11, с. 71–80.
15. Почвенная карта Российской Федерации и сопредельных государств / Герасимова М. И. [и др.] под ред. М. А. Глазовской. Масштаб 1 : 4 000 000. М.: Роскартография, 1995.
16. Карта почвенно-географического районирования СССР / Масштаб 1 : 8 000 000. М.: ГУГК, 1986.
17. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации / М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2001, 400 с.
18. Почвенная карта России / В. М. Фридланд, Е. Н. Руднева, Д. В. Шишов, Масштаб 1 : 2 500 000. 1988.
19. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2009. Harmonized World Soil Database (version 1.1). FAO, Rome, Italy and IIASA, Luxenburg, Austria. 38 p.
20. Средняя полоса Европейской части СССР. Природные условия и естественные ресурсы СССР / М.: Наука, 1967, 439 с.
21. Тонконогов В. Д. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России / М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 1999, 156 с.
22. Герасимова М. И. География почв России / М.: МГУ, 2007, 312 с.
23. Литвин Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / М.: ИКЦ «Академкнига», 2002, 255 с.
24. Национальный атлас почв России / Москва: АСТ Астрель, 2011, 632 с.
25. Мукатанов А. Х. Лесные почвы Башкортостана / Уфа: Гилем, 2002, 264 с.
26. Stolbovoi V., and I. McCallum, 2002. CD-ROM "Land Resources of Russia", International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Luxenburg, Austria.
27. Arc Atlas: Our Earth. Copyright © 1996 Environmental Systems Research Institute, Inc. and DATA+ All Rights Reserved.
28. 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.
29. Мулдашев А. А. Природное районирование Республики Башкортостан // Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан. – Уфа: Гилем, 2006, с. 25–34.
30. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2011 году/ Москва, 2012, 248 с.
31. Чанышев И. О. Почвенно-экологические основы оптимизации землепользования в Республике Башкортостан/ Автореф. дисс д.с-х.н. – Барнаул, 2009, 44 с.

32. Набиуллин Р. Б., Хайретдинов А. Ф. Лесное хозяйство республики Башкортостан / Уфа: Гилем, 2010, 272 с.
33. Подземные воды мира. Ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И. С. Зекцера. М.: Наука, 2007, 438 с.
34. Алексеевский Н. И., Айбулатов Д. Н., Косицкий А. Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Городец, 2004, с. 345–412.
35. Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты / М.: Изд-во МГУ, 1990, 304 с.
36. Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / Пермь: Изд-во Пермского университета, 2002, 163 с.
37. Малые реки Волжского бассейна / под ред. Н. И. Алексеевского. М.: Географический ф-т МГУ, 1998, 234 с.
38. Михайлов В. Н., Добровольский А. Д., Добролюбов С. А. Гидрология / М.: Высшая школа, 2008, 463 с.
39. Догановский А. М., Малинин В. Н. Гидросфера Земли / М.: Гидрометеиздат, 2004, 632 с.
40. Справочник водохранилищ СССР. Часть I. Водоохранилища объемом 10 млн м³ и более / М.: Союзводпроект, 1988, 322 с.
41. 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.
42. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И. А. Шикломанова, СПб, 2008, 598 с.
43. 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.
44. 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
45. Лавров С.А., Калюжный И. А. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока бассейна Волги в условиях изменения климата // Водные ресурсы. 2012, № 4, с. 74–84
46. Алексеевский Н. И., Фролова Н. Л., Антонова М. М., Игоница М. И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги. // Вода: химия и экология. 2013, № 4. – с. 3–12
47. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / М. Росгидромет, 2014, с. 1009

48. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик / Л.: Гидрометеиздат, 1977, 270 с.
49. Рождественский А. В. и др. Оценка точности гидрологических расчетов / Л.: Гидрометеиздат, 1990, 276 с.
50. Sibson, R. A vector identity for the Dirichlet tessellation. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc* 87 (1980), pp. 151-155
51. Sibson, R. *Interpreting Multivariate Data*. John Wiley & Sons, 1981, ch. A brief description of natural neighbour interpolation, pp. 21-36.
52. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981, 163 с.
53. Болгов М. В., Иванько Я. М. Применение метода совместного анализа к задаче районирования параметров формул максимального стока. // *Водные ресурсы*, 1988. № 5 с. 47–51.
54. Сотникова Л. Ф. Совместный анализ наблюдений за максимальным стоком гидрологически однородных бассейнов различных районов СССР. // *Проблемы изучения и комплексного использования водных ресурсов*. – М.: Наука, 1978, с. 45–79.
55. Кузин Л. С., Бабкин В. И. Географические закономерности гидрологического режима рек / Л.: Гидрометеиздат, 1979, 200 с.
56. Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2010. № 6, с. 8–16.
57. 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.
58. 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.
59. Гуревич Е. В. Влияние суровости зимы на неравномерность формирования зимнего стока в речном бассейне // *Метеорология и гидрология*. 2012. №7, с. 92–99.