

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

**М.Н. Бубин, Н.С. Рассказова**

**РИТМИЧНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ  
СТОКА РЕК КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ  
ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА  
(на примере Урала)**

Монография

Издательство  
Томского политехнического университета  
2013

УДК 556.16:551.583(470.5)

ББК 26.22:26.237(235.55)

Б90

**Бубин М.Н.**

Б90 Ритмичность многолетних колебаний стока рек как интегральный показатель изменчивости климата (на примере Урала): монография / М.Н. Бубин, Н.С. Рассказова; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 279 с.

ISBN 978-5-4387-0266-5

Ритмика является основным показателем многолетних колебаний природных процессов во времени и пространстве. Ведущими ритмами, определяющими характер развития природных явлений, в том числе и климата на Земле, являются космические ритмы. Ритмы космоса регулируют все процессы развития Земли, они лежат в основе равновесия в природе, что приводит к необходимости их подробного изучения.

Ритмичность многолетних колебаний стока рек является интегральным показателем изменчивости климата и показана авторами на примере годовых колебаний стока рек бассейна р. Тобол и сезонных колебаний стока Челябинской области.

Монография предназначена для специалистов в области физической географии, гидрологии и экологии.

УДК 556.16:551.583(470.5)

ББК 26.22:26.237(235.55)

*Рецензенты*

Доктор географических наук, профессор  
член-корреспондент РАО, заведующий кафедрой  
экономической географии РГПУ им. А.И. Герцена  
*Ю.Н. Гладкий*

Доктор географических наук заведующий  
отделом геоэкологии Оренбургского НЦ УрО РАН  
*Ю.М. Нестеренко*

Доктор географических наук, профессор  
кафедры гидрогеологии, инженерной геоэкологии НИ ТПУ  
*О.Г. Савичев*

ISBN 978-5-4387-0266-5

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт, 2013

© Бубин М.Н., Рассказова Н.С., 2013

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2013

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
РАЗДЕЛ I	
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК .....	7
1.1. Обзор исследований многолетних колебаний стока рек. Обоснование выбора территории для исследований .....	7
1.2. Природные условия и факторы формирования годового стока рек бассейна р. Тобол .....	13
1.2.1. Климатические факторы речного стока .....	14
1.2.2. Метеорологические факторы речного стока .....	18
1.2.3. Факторы речного бассейна .....	19
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК .....	27
2.1. Анализ и подготовка исходных данных для исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек .....	27
2.1.1. Гидрологическая изученность территории. Критерии отбора пунктов наблюдений для целей исследований .....	30
2.1.2. Выбор репрезентативного ряда наблюдений .....	35
2.1.3. Восстановление пропусков в рядах наблюдений и удлинение исходных рядов .....	40
2.1.4. Оценка тренда временных рядов. Проверка рядов на однородность .....	42
2.1.5. Нормирование рядов данных .....	46
2.1.6. Итоговый анализ информации о режиме рек .....	47
2.2. Методика исследования временной структуры рядов. Оценка достоверности результатов .....	49
2.3. Методика исследования пространственной структуры многолетних колебаний речного стока .....	52
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ВНУТРИВЕКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ГОДОВОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА р. ТОБОЛ .....	63
3.1. Ритмичность в природных явлениях и ее смысл .....	63
3.2. Оценка тренда временных рядов средних годовых расходов рек бассейна р. Тобол .....	68

3.3. Исследование временной структуры многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол .....	75
3.4. Обоснование выбора показателей, отражающих воздействие глобальных факторов на многолетние колебания стока рек, с целью изучения их взаимосвязи .....	94
3.5. Ведущие ритмы в космо- и геофизических факторах и их связь с ритмами в многолетних колебаниях годового стока рек (на примере рек бассейна р. Тобол) .....	100
<b>РАЗДЕЛ II</b>	
<b>ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>	
4.1. Краткая характеристика природных условий Челябинской области .....	109
4.2. Обзор исследований сезонного стока рек .....	126
4.3. Характеристика исходных данных .....	132
4.4. Методы исследований сезонных колебаний стока рек .....	138
<b>ГЛАВА 5. ГИДРОГРАФИЯ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>	
5.1. Речная сеть, закономерности ее строения и распределения .....	145
5.2. Характер питания рек и его влияние на сезонный сток .....	153
5.3. Сезонный режим осадков и его влияние на сезонный сток рек .....	165
<b>ГЛАВА 6. МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК .....</b>	
6.1. Исследование ритмичности сезонного стока рек Челябинской области .....	176
6.2. Связь сезонного стока с синоптическими условиям при разных формах атмосферной циркуляции .....	196
<b>ГЛАВА 7. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК .....</b>	
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>242</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>246</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>269</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая читателям монография состоит из двух разделов. В первом разделе автором Рассказовой Н.С. изложены результаты исследования многолетних колебаний стока рек в масштабе отдельного крупного бассейна – бассейна реки Тобол, расположенного на восточном склоне Уральских гор и в Зауралье. Исследования выполнены основе наиболее длительных рядов наблюдений за многолетними колебаниями стока рек данного бассейна и дают только общее представление о них. Но даже внутри сравнительно небольших районов существуют различия в характере вековых и внутривековых колебаний климата и стока. Ритмичность неодинаково проявляется в отдельные периоды на той или иной фазе развития вызывающих её факторов. Средняя длительность ритмов изменяется во времени и пространстве, поэтому очень важным является рассмотрение особенностей этих колебаний не только в отдельных бассейнах рек, но и в отдельных регионах, являющихся, например, частью бассейна. При этом исследование может проводиться в конкретные отрезки времени, характеризующиеся определёнными климатическими условиями.

В связи с вышеизложенным, другим автором – Бубиным М.Н. выполнено исследование многолетних колебаний сезонного стока рек на территории Челябинской области, занимающей значительную часть бассейна р. Тобол. Результаты исследования изложены во втором разделе монографии. Челябинская область – один из крупнейших экономических районов России и недостаточно обеспечена водой: больших рек на исследуемой территории нет, практически все реки только берут начало в области и протекают своими верховьями. Челябинская агломерация – единственная из 12-и агломераций РФ расположена на малой реке, с развитой в области водоемкими отраслями промышленности. С развитием хозяйства возрастает потребность в водных ресурсах и их рациональном использовании. Поэтому исследование любого из аспектов водных ресурсов представляет актуальную задачу, где одним из важных аспектов является изучение многолетних колебаний сезонного стока.

Агро- и гидрометеорологические явления нестабильны в пространстве и во времени, в том числе им присуща ритмичность. Речной сток является интегральным показателем климата, поэтому ритмы, выявленные в его многолетних колебаниях (годовых и сезонных), отражают ко-

лебания климатических характеристик исследуемой территории. В связи с этим одной из задач, решаемой в представленной монографии обоими авторами, является задача выявления ведущих ритмов, изучение генезиса колебаний водности рек и установление их глобальных и региональных закономерностей. Для исследования одним автором выбрана территория бассейна р. Тобол, другим – наиболее важная для народного хозяйства часть этого бассейна – территория Челябинской области. Выбор территорий для целей исследования в обоих случаях объясняется несколькими причинами. Территории отличаются разнообразием природных условий, приводящих к различию в водоносности рек и их гидрологическом режиме. Различие тематики исследования состоит в размерах территорий и выборе гидрологических характеристик: в первом случае исследуются многолетние годовые колебания стока (автор Расказова Н.С.), во втором – многолетние сезонные колебания стока (автор Бубин М.Н.). Исследования обоих авторов проводилось по единой методике и алгоритму. Бубиным М.Н. выполнена детализация и конкретизация результатов, полученных по части бассейна р. Тобол (Челябинская область). В результате исследований установлено совпадение или подтверждение ряда полученных авторами выводов, что свидетельствует о корректности решения поставленных авторами задач.

# ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК

## 1.1. Обзор исследований многолетних колебаний стока рек. Обоснование выбора территории для исследований

Основными причинами или факторами, обуславливающими закономерности пространственно-временных колебаний речного стока являются космо- и геофизические факторы. Влиянию этих факторов на многолетние колебания годового стока, выявлению различных форм цикличности, синхронности и асинхронности посвящены многочисленные исследования. Краткий и достаточно обстоятельный анализ их дан, в частности, в работе П.С. Кузина и В.И. Бабкина (1992). Более детальное изложение этих вопросов содержится в ряде специальных исследований (Дружинин и др., 1966, 1967, 1970; Исследования закономерностей..., Дружинин, 1969; Природа многолетних колебаний..., Дружинин и др., 1976; Пространственно-временные колебания, 1988; Динамика многолетних колебаний...1991 и др.). В изучении многолетних колебаний речного стока существует три направления:

- 1) исследование распределения вероятностей величин стока во времени и пространстве;
- 2) изучение ритмов в многолетних колебаниях стока и выявление районов синхронных и асинхронных колебаний стока;
- 3) исследование связи между многолетними колебаниями стока и гелиофизическими процессами (циклы солнечной активности атмосферная циркуляция, температурный режим океана и пр.).

Исследования автора посвящены второму и третьему направлению, в которых можно выделить три основных этапа.

Первый этап охватывает период с 1955 г. по 1970 г. Все исследования этого периода проводились большей частью по материалам наблюдений за стоком крупных рек, водосборы которых расположены в нескольких природных зонах (Кузин, 1970). Этот недостаток объясняется отсутствием длительных рядов наблюдений по стоку. Указанный период характеризуется использованием, в основном, визуальных методов исследований, например: разностно-интегральных кривых, сравнением различных диаграмм и т. д., что объясняется слабым внедрением ЭВМ в практику.

Второй этап знаменует переход к машинной обработке результатов наблюдений, преимущественно по средним рекам. Он охватывает период приблизительно в 20 лет (с 1970 по 1990 гг.). Широкое внедрение ЭВМ в практику позволило перейти к более строгим математическим методам исследований, а, следовательно, и получению более точных результатов. Использование ЭВМ типа: «Минск», «ЕС», «СМ» и данных мониторинга многолетних колебаний стока дало возможность выявления зональных особенностей режима рек и распространения полученных результатов на неизученные реки.

Третий этап – новейший, где для целей исследования пространственно-временных колебаний стока рек применяются современные ПЭВМ, ИС и ГИС-технологии.

Среди работ первого этапа исследований следует выделить труды: Т.Н. Кочуковой (1955), Н.В. Хамьяновой (1963), Н.В. Сомова (1963), В.И. Коровина (1966), З.П. Коноваленко (1966), А.И. Давыдовой, Г.П. Калинина (1969), И.П. Дружинина (1969), П.С. Кузина (1979), Р.И. Гальперина (1970) и др. Необходимо также отметить некоторые работы этого этапа общего и специального характера, освещающие влияние геофизических факторов на годовой сток рек. Это исследования П.С. Кузина (1965), В.Д. Быкова (1963), А.С. Шкляева (1964–1967 гг.) и др. Работы этого периода достаточно подробно освещены во многих более поздних трудах, посвящённой данной тематике.

Исследования второго этапа наиболее многочисленны. Они характеризуются применением в изучении пространственно-временной структуры многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик современного математического аппарата. К ним можно отнести труды: Н.П. Смирнова и др. (1973, 1974, 1986), С.Г. Агаркова (1973), О.Ф. Кондрацовой (1974), И.П. Дружинина и др. (1970, 1977, 1987), В.А. Румянцева, И.В. Бовыкина (1985), В.А. Жук, В.М. Евстигнеева (1976, 1980, 1982, 1999), С.П. Никитин, В.А. Земцов (1986), А.К. Фомченкова (1987), А.В. Рождественского и др. (1988) и др. Совместный труд Э.И. Саруханяна и Н.П. Смирнова (1971) посвящён исследованию многолетних колебаний стока р. Волги. Авторами на примере р. Волги, методом спектрального анализа получены циклические составляющие ее стока. Ими сделана попытка геофизического обоснования цикличности природных процессов.

В более позднем труде Н.П. Смирнова (1974) исследуются пространственно-временные закономерности многолетних колебаний стока рек СССР как отражение космогеофизического фона макропроцессов в атмосфере и океане Земли. Существенное различие в колебаниях стока на территории СССР автор связывает с особенностями перестройки цирку-

ляционных процессов. Н.П. Смирнов одним из первых применил в гидрологии метод главных компонентов для изучения пространственных закономерностей полей стока и получил на его основе удовлетворительные численные долгосрочные прогнозы. Совместно с В.Л. Скляренко (1973, 1974) автором внесен значительный вклад по внедрению методов многомерного статистического анализа в гидрологические исследования.

С.Г. Агарковым (1973) проведено подробное изучение циклической структуры стока рек Западной Сибири и повторяемости типов атмосферной циркуляции (а.ц.) с использованием корреляционного анализа (*R*-анализа) и спектральной плотности. Автором получено 5 районов, различающихся набором циклических составляющих и выявлена природа отдельных циклов колебаний стока рек. С.Г. Агарковым выделены группы и типы атмосферной циркуляции, являющиеся, по его мнению, основными факторами многолетней изменчивости стока рек рассматриваемой территории.

О.Ф. Кондрацовой (1974) методом разложения полей стока по естественным ортогональным составляющим (е.о.с.) получены циклы колебаний стока рек СССР. Ею подробно изучен квазидвухлетний цикл и выявлена природа этого ритма, являющегося характерной особенностью общей циркуляции атмосферы. Автором обнаружена также зависимость водности рек от направления стратосферных ветров.

Значительный вклад в изучение природы многолетних колебаний стока рек внесла группа ученых под руководством И.П. Дружинина (1977, 1987, 1981). Авторами выделены серии лет понижения и повышения водности рек и установлена доля их солнечнообусловленных начал на различных реках нашей страны. Учёными исследованы закономерности формирования серий экстремумов водности в отдельные годы и периоды 11-летней активности Солнца, сделана попытка предсказания динамики стока рек на конкретную ограниченную перспективу.

В.А. Румянцевым и И.В. Бовыкиным (1985) разработан специальный математический метод, являющийся разделом теории случайных выбросов. Авторы применили его для изучения многолетних колебаний стока рек Евразии как случайных последовательностей с дискретным временем. Выявленные ими закономерности гидрологического режима рек значительно расширили представления о статистической структуре многолетних колебаний стока.

Г.П. Калинин (1968) впервые выполнено исследование многолетней изменчивости колебаний стока 137 рек мира и выявлены районы с синхронными и асинхронными колебаниями стока. А.К. Фомченковым (1987) проведён корреляционный анализ по оценке синхронности колебаний речного стока для всей территории суши. Автором установ-

лено 88 районов с синхронным стоком, выявлены периоды средней, максимальной и минимальной водности. Для получения дополнительной информации о пространственно-временной структуре многолетних колебаний стока рек использовался метод разложения по е.о.с.

Группой ученых ГГИ под руководством А.В. Рождественского (1988) выполнено исследование пространственно-временных колебаний годового стока рек СССР с использованием пространственных корреляционных функций (п.к.ф.). Авторами выделен 41 район с одинаковыми условиями формирования стока, обобщены классические критерии однородности, произведена оценка стационарности стока.

Труды сотрудников кафедры гидрологии суши МГУ В.М. Евстигнеева, В.А. Жука и др. (1976, 1980–1982, 1984) положили начало активному внедрению методов многомерного статистического анализа (м.с.а) для изучения пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек. На примере территории ЕТС и Забайкалья и др. авторами показано преимущество современных методов многомерной статистики для изучения пространственно-временных колебаний по сравнению с предшествующими методами. Наряду с исследованием обширных территорий, м.с.а. нашел применение в региональных обобщениях и исследованиях многолетних колебаний стока отдельных крупных рек (Двинских, 1977; Степанов, 1979; Фомченков, 1987; Гопченко, 1988 и др.).

Основным недостатком подавляющего большинства работ этого этапа исследований является изучение многолетних колебаний стока рек в одном из аспектов: временном или пространственном. Комплексные исследования, отражающие одновременно цикличность и синхронность колебаний стока рек и их связь с космо- и геофизическими факторами либо отсутствуют, либо нуждаются в уточнении на основе привлечения большего количества данных и современных методов исследования.

Другим недостатком большинства исследований является использование при анализе синхронности стока рек недостаточно обоснованного с позиции поставленной цели показателя сходности объектов. Районирование территорий, выполненное авторами на основе результатов исследований многолетних колебаний стока рек, как правило, заканчивалось сравнением со схемами предыдущих исследователей. Количественные критерии районирования или отсутствовали совсем, или авторы использовали для этих целей малопригодные критерии. Так, например, некоторые исследователи считают оптимальным уровнем сходства объектов уровень корреляции – 0,5 (Кочукова, 1955; Агарков, 1973 и др.). Другие исследователи считают положительной корреляцией оценки  $R \geq 0,2$  (Акименко, Евстигнеев, 1999). При этом не дается четкого обоснования выбранного уровня сходства.

Третий этап исследований охватывает последнее десятилетие XX и начало XXI веков. В настоящее время методы многомерной статистики все глубже проникают в метеорологию и гидрологию. Кроме методов факторного анализа и теории распознавания образов все большее распространение получают специальные методы корреляционного анализа (*R* – анализ), являющиеся вкладом в развитие методов кластерного анализа (Рассказова, 1992; Складенко, Смирнов, 1974, 1999 и др.). Применение этих методов дает возможность значительно объективизировать решение задач, связанных с классификацией объектов и районированием территории по одному или ряду признаков. Так, например, применение алгоритма «образование ядер района», представляющего собой жестко детерминированную процедуру типа распознавания образов с самообучением, позволяет объединять объекты и кластеры по принципу максимальной близости в признаковом пространстве корреляций (Акименко; Евстигнеев, 1999). Это дает возможность в дальнейшем оперировать не с отдельными объектами анализа, а с их совокупностями. Указанная возможность продемонстрирована авторами на примере анализа синхронности колебаний годового стока рек европейской территории бывшего СССР.

В.Н. Синюкович (1999) выполнено гидрологическое районирование территории юга Сибири с использованием метода п.к.ф. Автором выявлены ведущие внутривековые циклы и выделены районы синхронных колебаний стока. В результате исследований установлено, что структура колебаний годовых величин стока характеризуется определенным набором внутривековых циклов, локализованных преимущественно в пределах районов с синхронными колебаниями стока.

Н.С. Рассказовой (2003) выполнено комплексное исследование многолетних колебаний годового стока рек Зауралья с применением авторского варианта кластерного анализа (2000). На основе исследований получена карта районирования территории и проведены количественная и качественная оценки результатов районирования. Исследования автора за 1999–2012 гг. (Рассказова, 1999–2012) посвящены исследованию многолетних колебаний стока рек Тобольского бассейна (в пределах российской территории).

Выбор территории Тобольского бассейна для целей исследования объясняется разнообразием природных условий, приводящих к различию в водоносности рек и их гидрологическом режиме.

Целью исследования является выявление ведущих ритмов в многолетних колебаниях стока рек бассейна р. Тобол и выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на них.

Территория Тобольского бассейна расположена как в горной области (горно-таежная и таежная зоны), так и на равнинной территории

(лесо-степная и степная зоны). Согласно районированию Урала и Приуралья (Ресурсы поверхностных вод..., 1973) в горной части бассейна выделяют Восточный Урал, на равнинной – Зауралье (рис. 1.1).

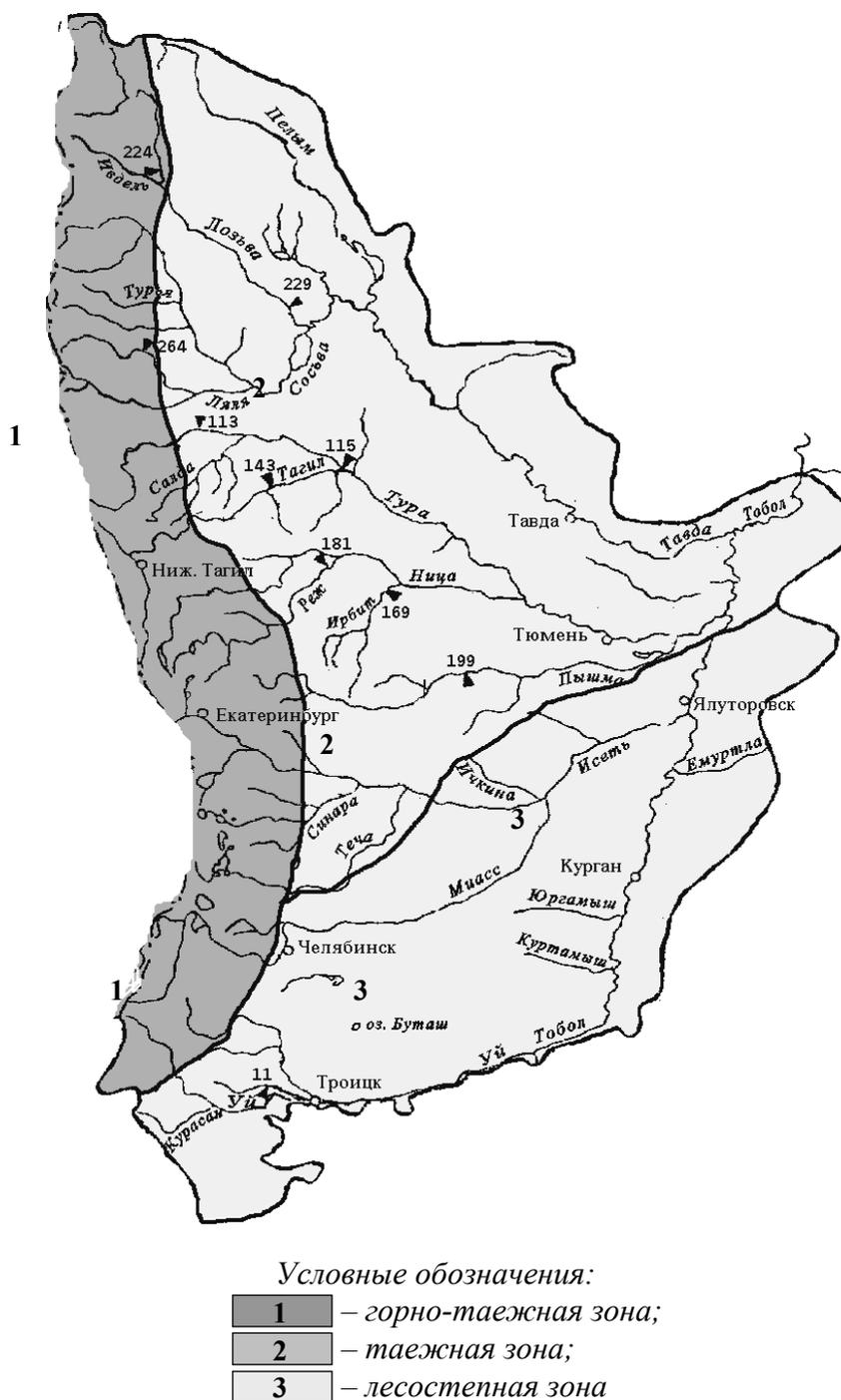


Рис. 1.1. Картограмма природных зон на территории бассейна р. Тобол (Ресурсы..., т. 11, 1973)

Условия физико-географического положения Тобольского бассейна являются одной из причин недостаточной гидрологической изученности

и сложности в исследованиях пространственно-временных колебаний речного стока. Природные условия и факторы формирования годового стока рек Восточного Урала и Зауралья в пределах Тобольского бассейна подробно рассматриваются автором в п. 1.2.

Изучению многолетних колебаний годового стока рек Тобольского бассейнов, а также их связи с различными космо- и геофизическими факторами посвящено значительное количество работ. Среди них необходимо отметить труды А.С. Шкляева (1964–1967), К.Е. Орловой (1968), А.П. Лепихина (1981), Н.С. Рассказовой (1992, 2003) и др. Однако, в силу различий целей и методов этих исследований их результаты трудно обобщить. В связи с этим возникла задача дополнительных комплексных исследований многолетних колебаний стока рек с применением современных компьютерных технологий. Решению этой задачи посвящены дальнейшие исследования автора.

## **1.2. Природные условия и факторы формирования годового стока рек бассейна р. Тобол**

Исследуемая территория разделена на две составляющие – Восточный Урал и Зауралье. Система Тобола, располагается на восточном склоне Уральских гор и на Западно-Сибирской равнине. Она относится к Обскому бассейну. Река Тобол является левым притоком Иртыша и берет начало на Тургайском плато (Казахстан). Длина реки 1591 км, общая площадь бассейна 426 тыс. км<sup>2</sup>, действующая – 326 тыс. км<sup>2</sup> (Ресурсы поверхностных вод..., 1975). Бассейн вытянут в меридиональном направлении (с юго-запада на северо-восток) по Западно-Сибирской равнине и располагается в пределах четырех природных зон: горно-таежной, таежной, лесостепной и степной. Основными притоками Тобола являются реки: Исеть, Тура и Тавда. В административном отношении пределы Тобольского бассейна соответствуют четырем областям: Свердловской, Челябинской, Курганской и Кустанайской (Костанайской). Территория Кустанайской области из-за принадлежности ее к другому государству и отсутствия данных необходимых для цели исследования не рассматривалась. Далее, говоря о Тобольском бассейне, будем иметь ввиду часть бассейна в пределах российской территории.

Основной характеристикой речного стока является его средняя годовая величина, позволяющая судить о водоносности рек, ресурсах поверхностных вод. Формирование речного стока происходит в зоне контакта двух природных сфер – атмосферы и литосферы. Каждая из этих сфер характеризуется параметрами, изменяющимися как в пространстве, так и во времени. В результате величина стока любой реки пред-

ставляет собой совокупность воздействия многочисленных элементов физико-географической среды или факторов. Поэтому речной сток обоснованно относится к многофакторным природным процессам. Природные факторы в разные годы по-разному влияют на средний годовой сток и неоднозначно определяют его величину, и распределение во времени. По мнению А.М. Комлева (1992), проблема оценки влияния на годовой сток различных факторов стока сложна, многопланова и требует дальнейших исследований. В связи с этим, на сегодня не существует единства классификаций факторов речного стока.

Физико-географические или природные факторы речного стока делят обычно на две основные группы: климатические и факторы подстилающей поверхности, куда включены все остальные элементы ландшафта, кроме климата. Антропогенные факторы, приобретающие все большее влияние на сток, как правило, выделяют в особую группу. Первая группа факторов определяет норму годового стока, а вторая, вместе с первой, – процессы или режим стока.

Классификации факторов стока основывается преимущественно на его средних многолетних характеристиках. При оценке влияния различных факторов на сток чаще всего исследователи ограничиваются анализом влияния факторов на какую-то конкретную характеристику стока. В нашем случае – это средний годовой расход воды. Наиболее полная и обоснованная с позиций генетического подхода классификация факторов речного стока дана А.М. Комлевым (1992, 2002). Согласно этой классификации все факторы речного стока можно разделить на три группы: климатические, метеорологические и факторы речного бассейна. Главная роль в формировании среднего годового стока принадлежит климатическим факторам. Рассмотрим кратко влияние перечисленных факторов на годовой сток рек Тобольского бассейна.

### **1.2.1. Климатические факторы речного стока**

Климатические факторы речного стока определяют средние значения различных характеристик стока, его пространственную изменчивость и тип водного режима реки. Они зависят в свою очередь от конкретного географического положения бассейна. Для целей исследования целесообразно рассмотреть лишь те характеристики климата, которые определяют многолетние средние ритмы речного стока и вышеназванные особенности. К ним относятся изменчивость годовых сумм осадков и испарения. Последняя характеристика зависит от температурного режима.

Водоносность рек, определяемая средней многолетней величиной годового стока, зависит от двух главных климатических факторов – ве-

личины атмосферных осадков и размеров их потерь на испарение. А.И. Воейков впервые научно и глубоко обосновал эту связь. Он правомерно рассматривал реки как продукт климата и их бассейнов и составил первую климатическую классификацию рек земного шара. Последующие классификации рек Б.Д. Зайкова, М.И. Львовича, П.С. Кузина и др. основаны на типизации особенностей водного режима рек, определяемых климатом. В дальнейшем вывод А.И. Воейкова был уточнен Э.М. Ольдекопом, Д.Л. Соколовским и др. (Комлев 1992, 2002).

Таким образом, средние зональные характеристики речного стока определяются климатическими факторами. В качестве характеристики, для целей исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек, как указывалось выше, рассматривается средний годовой расход рек (речь идет лишь о зональных значениях указанной характеристики, определяемой географической широтой и высотой местности, а также другими факторами, формирующими климат Урала и Зауралья). В качестве основных климатических факторов, влияющих на формирование многолетних колебаний стока рек Тобольского бассейнов, рассмотрим атмосферные осадки, температуру воздуха и испарение.

*Атмосферные осадки.* Многолетние колебания годового стока являются интегральным показателем климата. Главной причиной этих колебаний являются колебания годовых сумм осадков и испарения. Связь между годовыми значениями основных элементов водного баланса анализировалась многими исследователями. В результате анализа установлено, что в условиях достаточного и избыточного увлажнения колебания годового стока определяются в основном изменчивостью осадков (Комлев 1992, 2002).

Основные закономерности территориального распределения средних годовых сумм атмосферных осадков определяются двумя природными закономерностями: широтной зональностью и высотной поясностью. При анализе территориального распределения элементов водного баланса в горных районах, каким является Урал, наблюдается совместное воздействие на это распределение перечисленных закономерностей, что является результатом «наложения» вертикальной поясности на широтную зональность. На исследуемой территории годовые суммы осадков изменяются в больших пределах. Наибольшее количество осадков выпадает на хребтах и склонах гор. На Среднем Урале количество осадков составляет 800–900 мм., на Южном Урале они достигают 1200–1500 мм. На юге равнинной территории Предуралья осадки составляют 500–600 мм., а в Зауралье – 350–400 мм. Количество осадков (следовательно, и условия формирования стока рек) зависят от экспозиции бассейна в целом и склонов Уральских гор в частности. А.С. Шкляевым (1964) доказано,

что на восточном склоне Уральских гор (басс. Тобола) осадков выпадает меньше, чем на западных. Это связано с различной экспозицией склонов гор и преобладанием различных типов переносов воздушных масс (на восточном склоне преобладает меридиональный перенос). В полной мере это отражается и на связи среднего годового стока рек со средней высотой их водосбора. В каждом конкретном речном бассейне зональные величины и характер выпадения атмосферных осадков так же, как и величины речного стока, изменяются под воздействием местных особенностей рельефа и ряда других факторов.

*Температура воздуха.* Для температуры воздуха, пожалуй, в большей степени, чем для осадков и испарения, характерна закономерность территориального распределения по широте и высоте местности. И хотя она значительно меньше влияет на сток, чем рассмотренные выше элементы климата, значение ее (прямое или опосредованное) также весьма существенно.

На величину среднего годового стока температура воздуха влияет главным образом через испарение. Среднегодовая температура (наряду с суммой осадков) определяет соотношение различных источников питания и среднее высотное положение климатической снеговой линии в горах. Последнее необходимо при оценке доли ледникового питания рек, берущих свое начало в горах. Для уральских рек рассматриваемой территории такой тип питания не характерен.

Средняя годовая температура воздуха равнинной части бассейна р. Тобола изменяется с севера на юг от  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Более низкие значения температуры в бассейне р. Тобол связаны с воздействием сибирского антициклона, который обуславливает зимой в Зауралье устойчивую морозную погоду. В горных районах с увеличением высоты местности над уровнем моря наблюдается понижение температуры на  $0,5\text{--}0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м подъема. В холодный период градиент температуры меньше, чем в теплый; во многих случаях под влиянием местных особенностей рельефа имеют место температурные инверсии, т. е. наблюдается рост температуры воздуха с высотой. В среднем за год температура воздуха ниже на вершинах гор и в пониженных формах рельефа.

Таким образом, температура воздуха оказывает косвенное влияние на формирование годового стока рек Тобольского бассейна, которое выражается в различном соотношении источников питания рек.

*Испарение.* Суммарное испарение с поверхности речного бассейна является вторым важным составляющим уравнения водного баланса этого бассейна, определяющим величину годового стока реки. Как писал Л.К. Давыдов, «основными климатическими факторами, влияющими на величину среднего многолетнего стока рек, являются атмосферные осад-

ки, как потенциальная возможность возникновения и развития процесса стока (приходная часть водного баланса), температура и гигрометрическое состояние воздуха, как факторы, определяющие потери на испарение (расходная часть водного баланса)» (Кондратьев, Логинов, 1992).

Значительный интерес представляет анализ коэффициента испарения –  $\alpha$  (соотношение между величинами осадков –  $X$  и испарения –  $E$ ), а также коэффициент стока  $h = 1 - \alpha$ . Совместный анализ этих коэффициентов дает хорошее представление о степени влияния на годовой сток рек, как осадков, так и испарения. Одним из первых такой анализ еще в начале XX века Э.М. Ольдекоп, установивший два типа речных бассейнов.

В бассейнах первого типа, расположенных в зонах недостаточного увлажнения (на водосборной площади Тобола – это юг лесостепной зоны и небольшая площадь степной зоны южнее р. Уй), сток слабо зависит от осадков, поскольку они при высоком дефиците влажности расходуются главным образом на испарение. Здесь высок коэффициент испарения и невелик коэффициент стока.

В бассейнах второго типа, относящихся к областям достаточного и избыточного увлажнения (горно-таежная и лесная зоны, а также север лесостепной зоны), наоборот, испарение слабо зависит от осадков, так как оно близко к максимально возможному. Поэтому здесь хорошо выражена связь стока с осадками.

Испарение – очень сложный процесс, зависящий от комплекса метеорологических условий, характера испаряющей поверхности. В отличие от испаряемости, испарение зависит в большей степени от увлажнения территории. Особенно велико различие между значительной испаряемостью, определяемой главным образом достаточными тепловыми ресурсами в южных районах (юг лесостепной зоны и степная зона в пределах России) и испарением, ограниченным малым количеством осадков. Следовательно, суммарная годовая величина испарения в районах избыточного увлажнения ограничивается дефицитом тепла, а в аридных зонах – дефицитом влаги. Это обуславливает сравнительно малую пространственную изменчивость суммарного испарения. Так, если норма годовых осадков на Среднем Урале (в пределах бассейна Тобола) изменяется от 400 до 1000 мм и более, то испарение – от 340 до 460 мм. Слабо выражена и вертикальная поясность в распределении испарения в пределах этой территории. Вначале оно с высотой и ростом увлажнения несколько возрастает, затем, ограничиваемое дефицитом тепла, начинает снижаться (Ресурсы...1975). Шульцем (1965) установлено, что таким же образом изменяется испарение во всех горных районах.

В целом можно отметить, что степень влияния испарения на величину годового стока рек определяется как величиной общего увлажне-

ния территории, так и соотношением между элементами ее водного баланса. Испарение меньше влияет на сток в областях избыточного увлажнения с высоким коэффициентом стока и, наоборот, становится определяющим в зоне недостаточного увлажнения, где на испарение расходуется большая часть атмосферных осадков. Естественно, что наибольшая величина испарения приходится на теплую часть года. Поэтому, при прочих равных условиях, суммарные потери осадков на испарение будут больше в тех районах, где в теплый период выпадает их большая часть. В исследованиях использовались два показателя, учитывающих осадки и температуру теплого периода года и, косвенно учитывающих испарение – коэффициент Н.Н. Иванова (1958) и индексы засушливости А.В. Мещерской и В.Г. Блажевич (1977). Их сущность подробно рассмотрена в п. 3.4.

Таким образом, совместное воздействие комплекса климатических факторов, свойственных той или иной климатической зоне, в итоге формирует характерный для каждой зоны Бассейна Тобола водный режим самой реки и её притоков и особенности многолетних колебаний стока.

### **1.2.2. Метеорологические факторы речого стока**

Влияние факторов стока изменяется во времени. Если анализировать особенности формирования стока в отдельные годы, то в числе главных факторов, определяющих режим или процессы стока, следует, прежде всего, назвать метеорологические (Чеботарев, 1975; Кондратьев, Логинов, 1992; Комлев, 2002). Они составляют вторую группу факторов стока. К ней относят такие же факторы, как и к климатической группе: осадки, испарение, температура воздуха. Однако понятия климатические факторы и метеорологические факторы следует четко различать. Климатические факторы в полной мере влияют именно на средние многолетние характеристики стока, поскольку элементы климата – это значения метеорологических элементов или условий погоды, осредненные за многолетний период, отражающие среднее состояние атмосферы, тогда как метеорологические условия или элементы – это состояние атмосферы или погода в определенный момент времени или за определенный срок (Комлев, 2002).

Метеорологические факторы в отличие от климатических определяют многолетнюю внутригодовую изменчивость характеристик стока и фаз его режима во времени. Их учет важен при расчетах различных характеристик стока с заданной вероятностью превышения и при гидрологических прогнозах. Так как целью исследований является изучение многолетних колебаний стока, то характер влияния факторов этой группы применительно к исследуемой территории не рассматривался.

Климатические факторы, помимо прямого воздействия на годовой сток рек, оказывают и опосредованное влияние на него через ряд физико-географических характеристик речного бассейна. В этом случае элемент зональности в их влиянии прослеживается лишь частично и обычно не является, поэтому определяющим. В комплексе с другими азональными факторами физико-географические приводят к отклонениям зональных черт водоносности и режима стока отдельных рек. Рассмотрим эту группу факторов применительно к Тобольскому бассейну.

### 1.2.3. Факторы речного бассейна

Согласно классификации природных факторов формирования речного стока Комлева (2002) к факторам речного бассейна относят: морфометрию бассейна (размер и форма), рельеф, растительность, водные объекты, почвогрунты. Формирование стока любой реки осуществляется в конкретных физико-географических условиях ее водосборного бассейна, описание которого приведено выше. Особенности речного бассейна могут влиять на отклонение количественных характеристик стока от их зональных значений, определяемых климатом.

Размеры водосборного бассейна определяют размеры реки и ее водоносность. Расходы воды в реке (при прочих равных условиях и, прежде всего, условиях увлажнения) тем больше, чем больше площадь бассейна. Соотнесение величины годового расхода воды в реке с площадью водосбора, позволяет определять такие его относительные характеристики, как модуль и слой стока. Их использование важно при гидрологическом картографировании, при сопоставлении стока различных рек, а также его косвенной оценке в отсутствии материалов наблюдений. В целом, морфометрия речного бассейна осуществляет внутригодовое регулирование. На многолетнее регулирование речного стока размеры и форма бассейна не оказывают существенного влияния, поэтому при исследованиях пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек их, как правило, не учитывают.

Весьма существенную роль в процессах формирования речного стока играет *характер поверхности водосбора*. Он определяется рельефом и растительностью. Расчлененность рельефа, в свою очередь, является следствием воздействия целого ряда природных условий, среди которых важная роль принадлежит геологическому строению и составу горных пород. Такие тесно взаимосвязанные факторы как геологическое строение, рельеф полностью азональны. Однако и те, и другие влияют на средний годовой сток «... лишь постольку, поскольку они влияют на величину осадков и испарения, автоматически учитывающих влияние этих факторов» (Соколовский, 1968).

*Геологическое строение и рельеф* исследуемой территории разнообразны. Бассейн Тобола расположен на Западно-Сибирской платформе (Зауралье). Как указывалось выше, Уральские горы в пределах Тобольского бассейна представлены тремя частями: Северным, Средним (наиболее пониженным) и Южным Уралом. В тектоническом отношении они представляют собой систему сложных и чередующихся между собой поднятий и погружений. Наиболее распространенными здесь являются палеозойские отложения.

На севере предгорья Урала представлены системой постепенно понижающихся хребтов. Они характеризуются преимущественно небольшой высотой – 400–600 м., мягкими очертаниями и значительной расчлененностью рельефа, а в средней части – невысокими грядами, возвышающимися среди выровненных пространств. Близ Среднего Урала, у западных предгорий, располагается плоское, сильно расчлененное Уфимское плато высотой до 500 м., являющееся выступом кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы. К югу высота гор нарастает до 1642 м. (г. Ямантау).

Для бассейна р. Тобол характерно различие высот западной и восточной частей. Разновысотность территории выражается в переходе от горных хребтов Урала к Западно-Сибирской равнине. Западная часть бассейна расположена на восточных склонах Уральского хребта, имеет значительные абсолютные высоты и характеризуется расчлененностью рельефа. Восточные предгорья Урала плавно переходят в Западно-Сибирскую равнину, в основании которой лежит Западно-Сибирская платформа. Южнее г. Челябинска обширные предгорья восточных склонов Урала, с высотами от 200 до 500 метров, именуется Зауральским пенепленом. Возвышенности Предуралья и равнины Зауралья сложены преимущественно осадочными породами: пески, глины, песчаники, известняки и др. Именно с этими породами связано наличие такого важного фактора речного стока как карст (Балков, 1970).

*Карст, озерность и залесенность* бассейна относятся к местным (азональным) факторам. Они могут в некоторой степени влиять на его колебания в многолетнем разрезе, путем снижения многолетней изменчивости речного стока. Поверхность речных бассейнов, за исключением скалистых склонов и ледников покрыта *растительностью*. Каждый вид растительности по-особому влияет на процессы формирования и величину стока. Ее влияние заключается в снижении скорости движения воды по поверхности водосбора, что ведет к дополнительному расходованию воды на испарение и фильтрацию в почву. Наибольшее влияние на сток рек оказывает лесная растительность. Влияние леса в разных природных ландшафтах значительно различается. Вопросами влияния растительно-

сти на сток рек занимались многие ученые. Достаточно подробно состояние этого вопроса изложено А.М. Комлевым (2002). Что касается среднего многолетнего стока, то в ГГИ, на основе данных наблюдений по 3362 постам установлена четкая прямая пропорциональная зависимость модулей среднего многолетнего стока рек от залесенности их бассейнов. График этой связи отражает условия, при которых лесистость территории и годовой сток рек определяются степенью увлажненности, т. е. климатом. При этом выявлено, что при залесенности свыше 60 % эта связь прекращается (Дружинин, 1978). Такая ситуация характерна для таежной зоны Тобольского бассейна, где залесенность определяется главным образом уже не увлажненностью, а степенью дренированности территории. Лес является регулятором речного стока, но при анализе гидрологической роли леса, как азонального фактора формирования годового стока рек, необходимо учитывать и состав древесных пород и их возраст. Исследования ГГИ, проведенные в бассейне Тобола показали, что после вырубki старого леса величина годового стока сначала возрасла из-за резкого снижения испарения, а затем, по мере роста леса постепенно снизилась и составила 50–60 % нормы. Полное водопотребление вырубленного леса восстанавливается при возрасте 100 лет (Крестовский, 1986). В числе физико-географических особенностей речного бассейна важное место принадлежит подземному водосбору. В гидрологии подземным водосбором принято считать толщу *почвогрунтов* (без разделения ее на почвы и горные породы (грунты)), из которой вода поступает в речную сеть (Чеботарев, 1978). Подземный водосбор, наряду с поверхностным, влияет на соотношение между элементами водного баланса – осадками, испарением и стоком. Он играет практически главную роль в естественном и бассейновом регулировании стока. Основными физическими свойствами почвогрунтов, которые оказывают главное влияние на процессы стока, являются их водопроницаемость и водоудерживающая способность. Описание водно-физических свойств, определяющих характер и интенсивность процессов стока, дано в работах Комлева (1997). Характер взаимодействия почвогрунтов с водой определяется их гранулометрическим и минералогическим составами. Например, водоотдача песчаных почвогрунтов (на исследуемой территории на песчаных грунтах таежной зоны и частично в лесостепной зоне Тобольского бассейна произрастают ленточные сосновые боры), по сравнению с суглинистыми и солончачковыми (юг лесостепной и степной зоны Зауралья), их водоотдача почти в 5 раз больше. При этом лесные почвы (таежная и лесостепная зоны) во всех случаях отличаются еще более высокими ее значениями. Коренные породы, слагающие подземные водосборы, также как и почвы отличаются различными водными свойствами: минералогическим составом, тре-

щиноватостью. От минералогического состава зависит такое их важное свойство, как растворимость. К хорошо растворимым породам относятся: доломиты, ангидриды, мел, мрамор, известняки и др. Как указывалось выше, с ними связано наличие такого важного фактора речного стока как карст. На рис. 1.2 представлена схематическая карта закарстованности территории Тобольского бассейна.

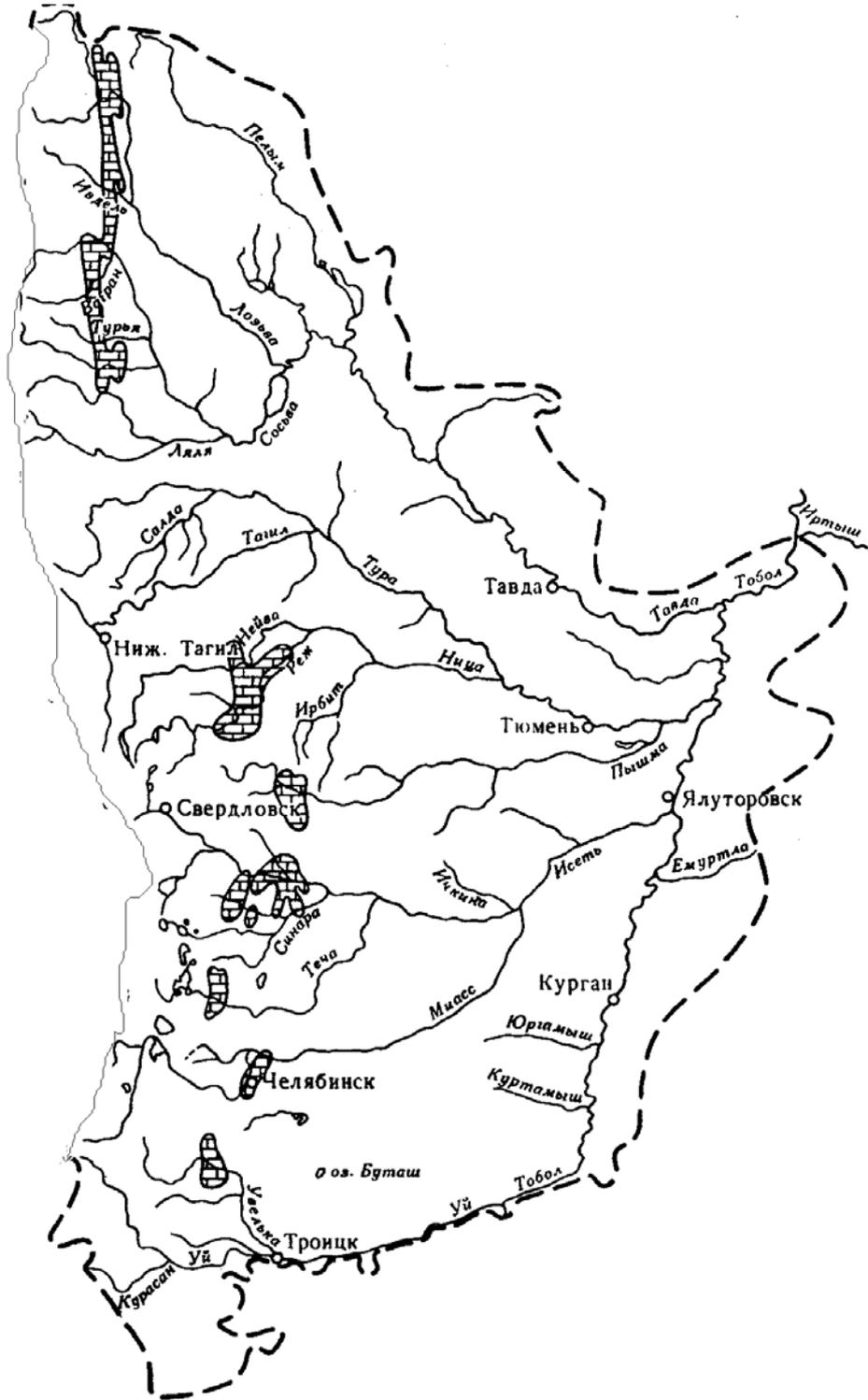
Из рисунка видно, что в бассейне р. Тобол карст распространен достаточно широко, но наибольшего развития он достигает лишь в верхней части бассейна р. Сосьвы. Высокая закарстованность водосборов рек влияет не только на внутригодовую зарегулированность речного стока, но и на его многолетнюю изменчивость. К таким бассейнам можно отнести, например, бассейн р. Ирени (Комлев, 2002, с. 68), бассейн р. Вагран, а также бассейны рек Ай, Юрюзань, Сим и др. (Рассказова, 2001, с. 45).

При несовпадении поверхностного водораздела, в пределах которого происходит водообмен между речными бассейнами на закарстованных территориях, с подземным водоразделом наблюдается отклонение годового стока рек от средних зональных значений. Ощутимое влияние карста на речной сток по данным В.А. Балкова (1978) прослеживается на реках с площадями до 1 тыс. км<sup>2</sup>. Для целей исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек используются реки с площадями водосбора не менее 1000 км<sup>2</sup>, поэтому влиянием карста на многолетние колебания стока рек можно пренебречь.

Другим аazonальным (местным) фактором, влияющим на сток рек в многолетнем разрезе являются *водные объекты* (озера, пруды, водохранилища).

*Озерность* Зауральской равнины составляет в среднем примерно 5–6 %. Озера по территории распространены очень неравномерно. Наибольшая озерность характерна для восточных предгорий Среднего и Южного Урала – 14 %, а наименьшая – для юга лесостепной зоны Тобольского бассейна (1 %). По своему происхождению озера Зауралья относятся преимущественно к эрозионно-тектоническим. Наиболее крупными из них являются: Увильды, Тургойак, Кисегач, Иртяш.

Кроме естественных водоемов на рассматриваемой территории много искусственных водоемов. Сток многих рек бассейна Тобола, преимущественно малых, зарегулирован *прудами* и *водохранилищами*. Все они относятся к водохранилищам сезонного регулирования. Площади их зеркала не превышают 100 км<sup>2</sup>. Наиболее крупными из водохранилищ являются: Аргазинское на р. Миассе, Белоярское на р. Пышме, Исетское на р. Исети. При наличии в бассейне реки крупных озер и водохранилищ осуществляется не только внутригодовое, но и многолетнее регулирование стока, т. е. перераспределение его год от году.



Условные обозначения:



– известняки и доломиты

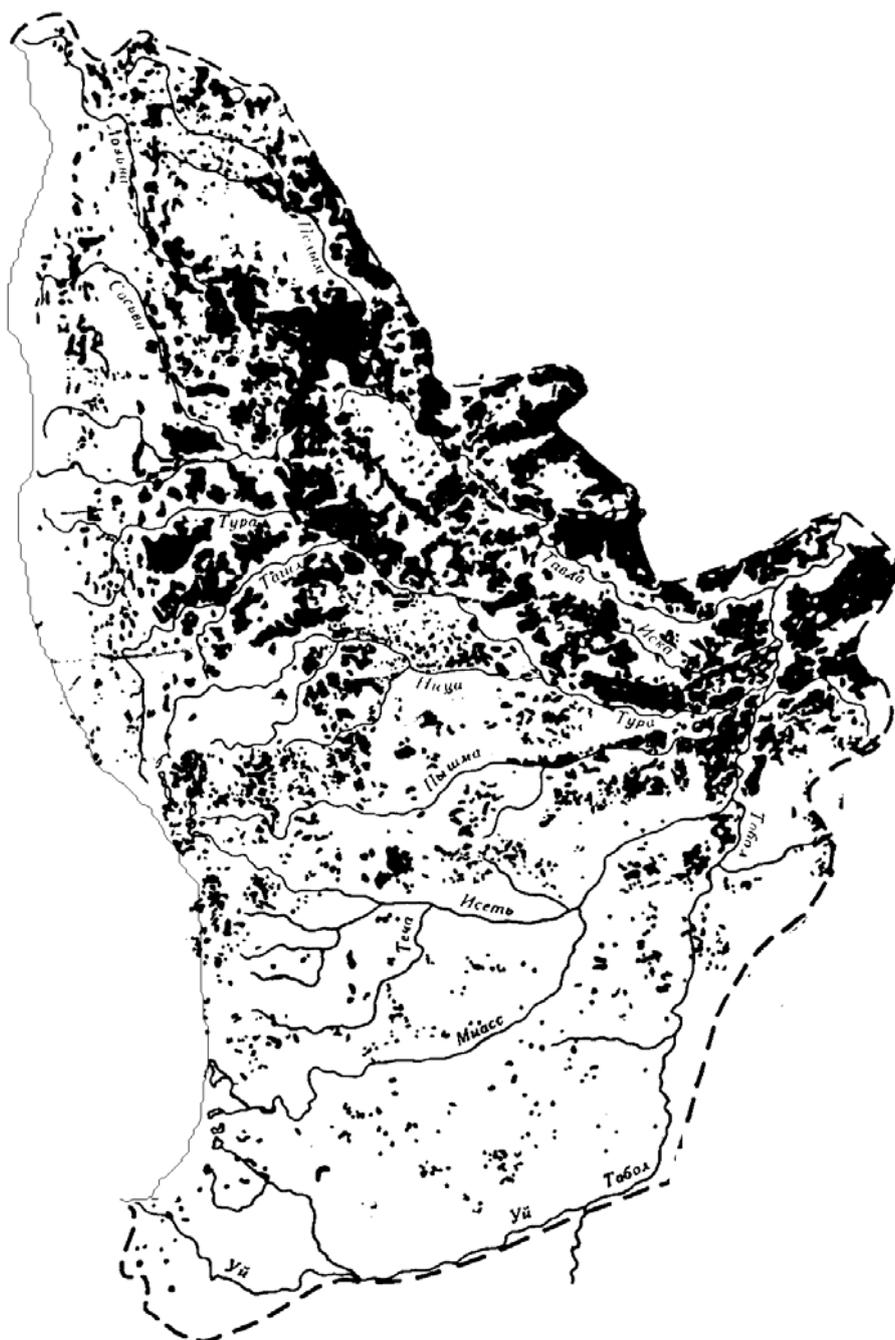
Рис. 1.2. Картограмма распространения карста по территории Тобольского бассейна (Ресурсы..., т. 11, 1973)

Влияние озер и искусственных водоемов на норму годового стока проявляется в ее уменьшении пропорционально разности испарения с водной поверхности и поверхности суши. Поэтому заметное влияние водных объектов на годовой сток рек имеет место только в южных районах территории (юг лесостепной зоны и степная зона Зауралья), где разница в испарении с водной поверхности и с поверхности суши достигает 300–400 мм. Анализ материалов наблюдений за стоком озерных рек показал, что снижение стока под влиянием озер достигает 25–30 % при озерности водосбора порядка 10–20 % (Черняев, Шахов и др., 1977). К таким районам в Зауралье можно отнести территорию восточных предгорий Среднего и Южного Урала с озерностью – 14 %.

*Болота* в гидрологии традиционно рассматриваются в числе других водоемов, хотя при рассмотрении их как азонального фактора формирования стока рек, правильнее было бы отнести их в раздел, посвященный гидрологической роли почв и грунтов (Комлев, 2002). Подавляющее число болот располагается внутри болотных массивов, и составляют вместе с ними обширные озерно-болотные комплексы. Вычленить отдельно влияние болот достаточно сложно и возможно лишь при условии практически равного влияния на годовой сток рек других физико-географических факторов. Поэтому и оценивать влияние болот на годовой сток рек следует обязательно с их учетом. Распространение болот носит четко выраженные черты географической зональности. Особенно их много в зоне избыточного увлажнения. На рис. 1.3 представлена картосхема заболоченности территории Тобольского бассейна.

Из картосхемы видно, что болота на территории водосборной площади бассейна Тобола распространены повсеместно, но очень неравномерно. Наиболее заболоченной является территория северного Зауралья. Величина заболоченности здесь достигает 50 %. К югу она резко уменьшается (до 1–2 %).

Влияние заболоченности водосборных бассейнов на годовой сток надежно не установлено. Причиной этому зональное изменение фактора по территории, а также недостаточность данных о стоке воды с водосборов, расположенных в одинаковых климатических условиях, но с резко различной степенью заболоченности. Предварительные результаты, свидетельствующие об отсутствии заметного влияния заболоченности на годовой сток, могут оказаться далеко не надежными. Аналогичные заключения можно сделать и по фактору заболоченности территории. Количественная оценка влияния факторов заболоченности и залесенности территории на годовой сток рек требует дальнейших более детальных исследований, особенно для небольших водосборов Урала (Ресурсы..., 1975).



Условные обозначения:

■ – болота

Рис. 1.3. Картограмма распространения болот по территории Урала и Зауралья (Ресурсы..., т. 11, 1973)

Таким образом, анализ различных факторов формирования речного стока показал, что наибольшее влияние на многолетние колебания годового стока оказывают климатические факторы. Они определяют норму различных характеристик стока рек и характеризуют их водоносность.

Климатические факторы являются зональными или определяющими, в то время как бассейновые факторы обуславливают лишь отклонения от зональных значений стока. Однако необходимо подчеркнуть, что без знаний и правильного учета различных факторов речного стока, результаты исследований пространственно-временной структуры гидрометеорологических полей будут неполными и некорректными.

Природные условия формирования речного стока Тобольского бассейна, описанные в п. 1.2, демонстрируют разнообразие исследуемой территории по геологическому строению, рельефу, климатическим условиям. Это значит что, территория Тобольского бассейна интересна с точки зрения разнообразия гидрологического режима рек, а, следовательно, и для изучения многолетних колебаний стока рек и их связи с космо- и геофизическими факторами.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК**

### **2.1. Анализ и подготовка исходных данных для исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек**

Одной из наиболее важных задач гидрологии и метеорологии является изучение генезиса многолетних колебаний водности рек и попытка установить их глобальные и региональные закономерности, а также разработка современных географических информационных систем и ИС-технологий, позволяющих быстро и качественно решать эту задачу. На рис. 2.1 отображен алгоритм ее решения.

Анализ отечественных и зарубежных достижений в исследовании пространственно-временной структуры гидрометеорологических полей показывает, что наиболее важными являются следующие задачи:

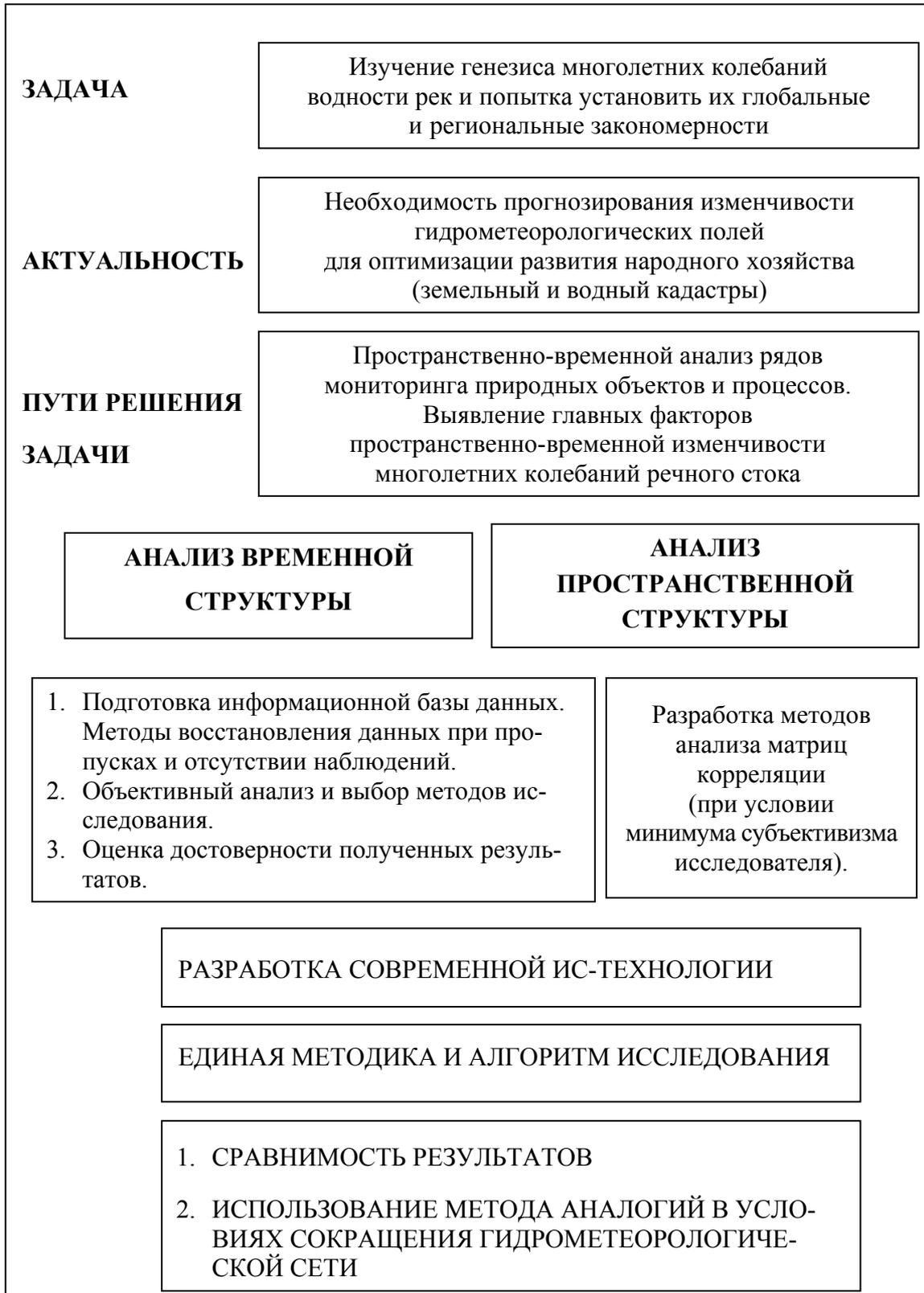
1. Задача аппроксимации многолетнего хода стока и формирующих его факторов, а также изучение зависимости его от различных космо- и геофизических факторов.

2. Задача изучения многолетних колебаний водности рек. Она состоит из двух частей: выявления временной структуры рядов мониторинга годового стока рек и их пространственного анализа. При изучении пространственно-временной структуры полей стока рек возникают сложности, связанные с недостатками сети мониторинга природных объектов и процессов, с использованием различных методик и алгоритмов исследования. Следствием этого является получение различающихся схем районирования.

3. Задача районирования представляет окончательный результат изучения пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек и является основой для прогнозирования их динамики.

Для ответа на вопросы, возникающие при изучении пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока необходимо следующее:

а) решить методические вопросы подготовки информационной базы данных. Определить способы восстановления пропусков в рядах наблюдений, а также численной оценки точности исходных данных и влияния ее на конечные результаты;



*Рис. 2.1. Алгоритм исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек*

б) выполнить анализ и выбор методов исследования для выработки единой методики и алгоритма исследований;

в) сформировать, по возможности, объективные способы оценки достоверности полученных результатов.

Только в этом случае можно говорить о сравнимости результатов исследований с последующим распространением их на малоизученные и неизученные объекты в условиях сокращения гидрометеорологической сети.

При изучении пространственной структуры к этим задачам добавляется еще одна – разработка методов анализа многомерных корреляционных матриц, в которых результаты не зависели бы от шага разбиения и субъективизма исследователя. При выборе уровня сходства (корреляции) и числа кластеров, образованных на данном уровне субъективизм исследователя должен сводиться к минимуму. Как отмечалось выше, для быстрого и качественного выполнения подобных исследований необходимо создание современной ИС-технологии. С целью решения указанных задач проанализировано значительное количество работ различных авторов. В результате выявлены методы, наиболее часто и корректно применяемые для статистической обработки временных рядов, анализа их пространственно-временной структуры и оценки достоверности полученных результатов. Для пространственного анализа рядов мониторинга природных объектов сформирована методика, включающая в себя авторскую версию кластерного анализа, зарегистрированную в отделе численного анализа МГУ (Расказова, 1992), а также строго обоснованные с позиции поставленной цели критерии оценки достоверности полученных результатов. Преимущество авторской версии кластерного анализа, в сравнении с другими, состоит в том, что в ней сведен к минимуму субъективизм в выборе числа кластеров и уровня сходства объектов. На основе анализа многочисленных работ по исследованию пространственно-временной структуры гидрометеорологических полей автором отобраны методы, позволяющие наиболее рационально решить перечисленные задачи. Сформированные методика и алгоритм исследования положены в основу авторской ИС-технологии «Природа» (2000), (URL:[http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623)).

С целью исследования автором собран и структурирован материал сети мониторинга за природными объектами (реками) в виде рядов средних годовых расходов воды на 42 гидрологических постах, из них 8 постов относится к большим по площади водосбора рекам, 27 постов относится к средним, отражающих зональные особенности многолетних колебаний стока рек исследуемой территории и малым (не менее 1000 км<sup>2</sup>) – 7 постов. Продолжительность наблюдений варьирует от 30–35 лет (пост Ис-

еть–Каменск-Уральский и др.) до 110 лет (посты: Тура–Верхотурье, Ница–Ирбит и др.). В базе данных собрана также информация о многолетних колебаниях атмосферного увлажнения территории в виде предварительно рассчитанных показателей коэффициентов увлажнения по Н.Н. Иванову (17 станций), индексов засушливости *DM ATP* (по А.В. Мещерской и др.) и 16 показателям космо- и геофизических факторов (23 ряда данных). Всего в базе данных содержится более 200 рядов данных, из них 42 ряда – средние годовые расходы рек бассейна р. Тобол.

При подготовке базы данных для исследования многолетних колебаний стока рек необходимо было решить ряд вопросов и провести некоторые предварительные исследования. Ниже приведен целесообразный порядок выполнения этих исследований:

- 1) формирование банка данных;
- 2) выявление степени изученности территории (число пунктов наблюдений, их территориальное распределение, продолжительность наблюдений за объектом);
- 3) отбор пунктов наблюдений для целей исследований по природным зонам в соответствии с рекомендациями П.С. Кузина;
- 4) анализ качества режимной информации;
- 5) выбор репрезентативного (представительного) ряда наблюдений;
- 6) восстановление и удлинение рядов (при необходимости);
- 7) оценка трендов временных рядов;
- 8) проверка статистической однородности рядов наблюдений;
- 9) нормирование рядов исходных данных.

### **2.1.1. Гидрологическая изученность территории.**

#### **Критерии отбора пунктов наблюдений для целей исследований**

При отборе данных для исследования многолетних колебаний природных процессов используют наиболее надежные показатели. Например, в качестве показателя, характеризующего изменчивость многолетних колебаний водоносности рек, как правило, используют средние годовые расходы. Они являются надежными показателями для разного рода классификаций, особенно при гидрологическом районировании. Информация о режиме речного стока, публикуется в изданиях Государственного водного кадастра.

Учету и включению в государственный водный кадастр подлежат все воды единого государственного фонда.

Основные принципы ведения ВК – объективность и полнота сведений, непрерывность ведения и принцип экономичности – делают кадастровые работы достаточно сложной задачей. В настоящее время для

ведения ВК применяются автоматизированных системы, так как они представляют собой наиболее оптимальный вариант ее решения.

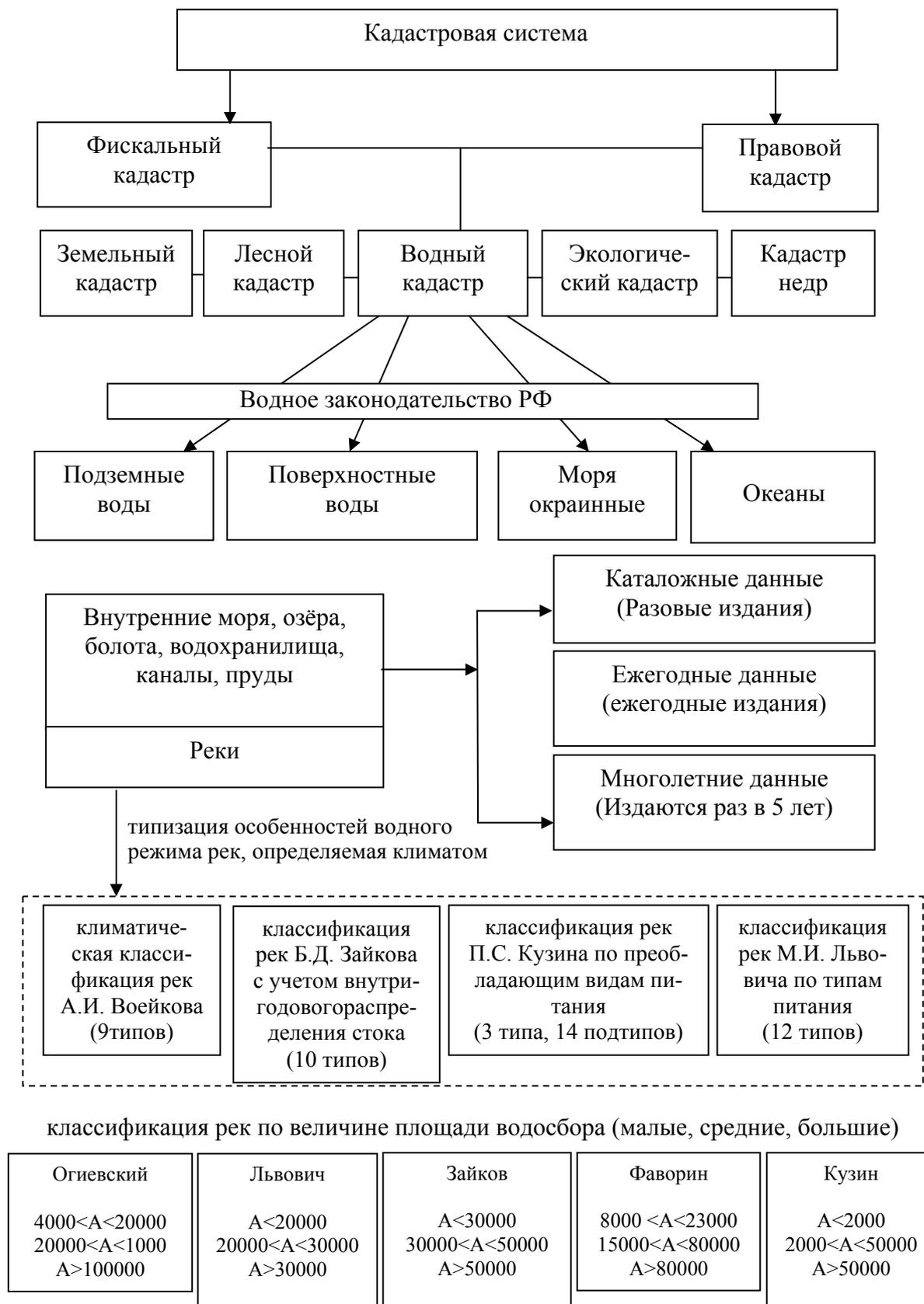
Основой автоматизированной системы водного кадастра является достоверная и точная информация о гидрологическом режиме объектов. Под гидрологическим режимом понимают: термический, ледовый, водный и русловой режимы рек. Место ВК в кадастровой системе отражено на рис. 2.2.

На схеме выделены составляющие, непосредственно используемые при исследовании пространственно-временной структуры стока рек бассейна Тобола. К исходным данным, используемым для целей изучения их пространственно-временной изменчивости, в различных науках предъявляется свой ряд требований. В гидрологии, например, одним из таких требований является отбор рядов данных, отражающих зональные условия формирования стока.

Исходя из генетических положений А.И. Воейкова и В.Г. Глушкова о том, что малые и средние реки дают более правильное представление о режиме того или иного района, для исследования отобраны средние и малые по площади водосбора реки, которым в большей степени свойственен гидрологический режим определенной физико-географической зоны. К сожалению, нет единого мнения по поводу деления рек на большие, средние и малые. Разные авторы понимают под каждым из терминов различные по площади водосбора реки. В зависимости от поставленных целей, для классификации рек используют различные критерии. До сих пор задача деления рек на группы является одной из существенных задач современной гидрологии.

При исследовании многолетних колебаний стока рек вернее всего положить в основу географический принцип, который проявляется в делении рек по отношению их к географическим зонам (Воскресенский, 1962; Архипов, Блажко, 1976; Чеботарев, 1975; Черных, 1979 и др.).

Автором проанализированы классификации рек по признаку величины площади водосбора различных авторов: А.В. Огиевского, М.И. Львовича, Б.Д. Зайкова, Н.Н. Фаворина, П.С. Кузина. Для целей исследования нами принята за основу классификация П.С. Кузина, т. к. она позволяет привлечь наибольшее число рядов средних годовых расходов рек, что немаловажно в регионах с неравномерным распределением гидрологической сети. Согласно классификации П.С. Кузина, к большим рекам относятся реки с площадями водосбора более 50000 км<sup>2</sup>. Они располагаются обычно в нескольких природных зонах и относятся к категории полизонных (Кузин, 1965, с. 54). К большим рекам могут также относиться реки, расположенные в одной физико-географической зоне, если их притоки формируются в разных зонах.



*Рис. 2.2. Место водного кадастра в кадастровой системе*

Средними реками считаются те, бассейны которых расположены в одной природной зоне. Их сток формируется в более или менее однородных условиях и равен зональной и климатической норме, то есть подчиняется закону физико-географической зональности. У средних рек площади водосбора варьируют в значительных пределах от 2000 км<sup>2</sup> до 50000 км<sup>2</sup>.

К малым рекам относятся небольшие водотоки, ручьи и временные, периодически действующие водные потоки. Их сток часто аazonален, так как может сильно изменяться под влиянием местных (азональных) факторов (озера, карстовые явления и др.). К малым рекам по классификации Кузина (1965) относят небольшие водотоки с площадями водосбора менее 2000 км<sup>2</sup>. Учитывая, что интерпретация результатов исследований влияния различных факторов на годовой сток затруднена для рек с площадями бассейнов менее 1000 км<sup>2</sup>, ввиду значительного воздействия на них аazonальных факторов и результатов хозяйственной деятельности, использование данных по малым рекам для целей исследования ограничивалось этой площадью.

Посты наблюдений должны быть (по возможности) равномерно распределены по территории. Поскольку в основу деления рек на большие, средние и малые положен географический принцип, то посты наблюдений лучше всего равномерно распределять по географическим зонам. Количество используемых данных в разных природных зонах, при условии равномерности их распределения по территории, может быть неодинаковым. Например, на равнинах (0–100 м), где природные условия изменяются сравнительно плавно, опорных пунктов может быть меньше, чем в предгорьях (100–200 м) и горах (200 м и более), где распределение природных условий отличается значительной сложностью и пестротой (Кузин, 1970, с. 153). Распределение постов для средних и малых (>1000 км<sup>2</sup>) по площади водосбора рек по физико-географическим зонам представлено в табл. 2.1. Расположение гидрологических постов в бассейне Тобола показано на рис. 2.3.

Таблица 2.1

*Распределение гидрологических постов на территории бассейна р. Тобол*

Бассейн / кол-во постов	Природная зона				Общее кол-во постов
	горно-таежная	лесная	лесостепная	степная	
бассейн р. Тобол	19	7	7	4	29

Исследование многолетней ритмичности колебаний природных процессов ведется на основе данных по их естественному режиму. Ряды



многолетним или сезонным. Последнее важно потому, что использование данных по годовому стоку рек, зарегулированных водохранилищами сезонного, суточного или недельного регулирования считается возможным (Чуткина, Евстигнеев, 1976; Шелутко, 1984 и др.) Сведения о степени антропогенного воздействия на годовой сток публикуются в виде атрибутивных (релятивных, текстовых и др.) данных и растровых карт (Ресурсы..., вып. 2, 1975) и др. В результате анализа опубликованных данных было установлено, что сток многих рек Тобольского бассейна зарегулирован прудами и водохранилищами (Рассказова, 2012). Но все они относятся к объектам сезонного регулирования, поэтому на многолетние колебания годового стока рек они не оказывают влияния, если не считать небольшие дополнительные потери на испарение (Носаль, 1995; Чеботарев, 1973).

Существенное влияние на годовой сток рек оказывает сезонное и многолетнее регулирование в аридном климате (Шикломанов, 1979). Что касается территории исследования, то к засушливой можно отнести юг Челябинской области, где строительство Кизильского водохранилища сезонного регулирования было остановлено в связи с попаданием под затопление уникального памятника протогородской цивилизации XVII – XVI вв. до н.э. – страны городов «Аркаим» (22 города).

Таким образом, в результате анализа установлено, что наблюдения за годовым стоком рек рассматриваемой территории не искажены влиянием водохранилищ сезонного регулирования, и могут быть использованы для целей исследования их пространственно-временной структуры.

### **2.1.2. Выбор репрезентативного ряда наблюдений**

Важным этапом обработки исходных данных является *выбор репрезентативного ряда наблюдений* из генеральной совокупности данных. В гидрологии оценка репрезентативности наблюдаемых данных необходима для того, чтобы, не прибегая к довольно сложным расчетам по приведению коротких гидрологических рядов наблюдений и их параметров к многолетнему периоду, оценить возможные ошибки параметров и расчетных значений с заданной вероятностью превышения при инженерных расчетах. В случае исследования пространственно-временной структуры репрезентативность выборки обеспечивает корректность выделения ведущих ритмов из числа фоновых (второстепенных) и корректность выявления групп рек с синхронными колебаниями при исследовании многолетних колебаний годового стока рек методами кластерного анализа.

Представительность или репрезентативность выборки обеспечивается не только ее объемом, но и строгим соблюдением научно обоснован-

ванных правил отбора, гарантирующих его объективность. Способы отбора могут быть разными: элемент, группа элементов (гнездовой или серийный отбор). В наблюдениях за природными явлениями это, как правило, серийный отбор, то есть непрерывный ряд наблюдений, являющийся фрагментом всего ряда наблюдений.

Выборочные наблюдения будут представлять всю совокупность наблюдений с приемлемой точностью при двух условиях:

1) выборка должна быть достаточно длительной  $n \geq 30$  лет, чтобы в ней могли проявиться закономерности, существующие в генеральной совокупности;

2) элементы выборки должны быть отобраны объективно, независимо от воли исследователя, чтобы каждый из них имел шансы быть выбранным.

Эти условия устанавливаются математической теорией выборочного метода, которая основана на основных теоремах теории вероятностей (Закон больших чисел, БСЭ, 1975, с. 40).

Математическая теория выборочного метода опирается на два важных раздела математической статистики:

1) теорию выбора из конечной совокупности;

2) теорию выбора из бесконечной совокупности.

В исследованиях природных явлений мы имеем дело с первым ее разделом. Теория выбора из конечной совокупности при определении величины выборки, исходит из необходимости нормального ее распределения. При использовании выборки продолжительностью 30 лет и более, величина среднего  $\bar{X}$  выбранной совокупности  $n$  подчиняется нормальному распределению.

Исследования Брикнера, Шнитникова и других авторов (Коротина, 2002) подтвердили, что для изучения пространственно-временной структуры природных объектов и явлений при ограниченном числе наблюдений можно использовать промежуток времени 30–35 лет, т. к. он соответствует средней продолжительности внутривековых циклов колебаний климатических элементов. При этом во временной структуре исследуемых рядов достоверно можно установить наличие ритмов длительностью не более 11 лет ( $11 * 3 = 33$ ). Необходимо учитывать также, что для исследования различных природных полей существуют определенные особенности выбора репрезентативного периода. Так, например, в гидрометеорологии кроме требования к длительности рядов должны также соблюдаться и некоторые другие. Интервал лет, выбранный в качестве репрезентативного ряда, должен обязательно находиться на одной (80-летней) «ветви» графика солнечной активности (восходящей или нисходящей). При этом он должен характеризоваться преобладанием ка-

кой-либо одной формы атмосферной циркуляции, наиболее характерной для исследуемого региона. Так, например, по мнению А.С. Шкляева и Г.С. Калинина (1966, с. 60) «совершенно очевидно, что ... в бассейне Тобола расчётный период обязательно должен включать полный цикл колебаний водности реки» и сочетать периоды, включающие эпохи С и Е, имеющие большие различия по условиям формирования стока. Однако длительность рядов 30–35 лет не всегда удовлетворяет целям исследований. Как показывают исследования Швец (1978), Клемеш (1995) и др. при оценке водных ресурсов (следовательно, при изучении пространственно-временной структуры полей стока рек) надежность результатов зависит от длины используемой реализации.

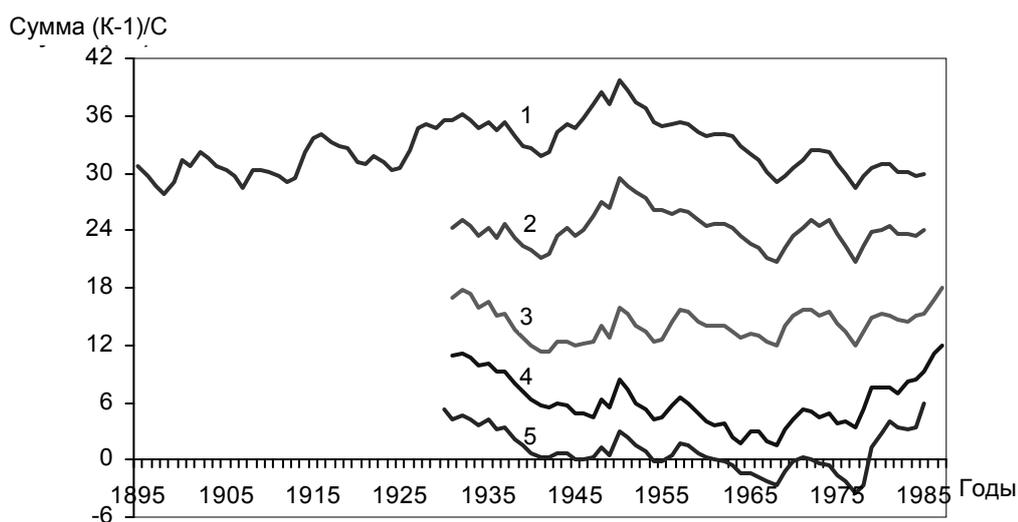
Один из способов повышения надежности результатов предложен ВМО (Всемирная Метеорологическая Организация). Он заключается в использовании данных за сроки большие и меньшие стандартных тридцатилетних периодов (Climatic Change, 1966) и используется при изучении пространственной структуры объектов методами кластерного анализа. Для выявления временной структуры (ведущих ритмов) необходимы ряды с продолжительностью кратной тройной величине выявляемого ритма. При недостатке данных применяется искусственное удлинение ряда наблюдений пределах 10 % от исходной длины ряда (Международное руководство..., 1984). Но, как показывает практика, удлинение ряда наблюдений далеко не всегда приводит к повышению точности последующих вычислений (Клемеш, 1995; Резниковский, 1980; Шелутко, 1984) и др.

В гидрологии ряд наблюдений за речным стоком считается репрезентативным, если относительная среднеквадратическая ошибка определения среднего многолетнего значения ряда не превышает 5–10 % при неизменных физико-географических условиях (Международное руководство..., 1984). Такой подход, без учета цикличности колебаний стока применяется в гидрологической практике (Комлев, 1981, но он является чисто статистическим.

Исследования Комлева (2002) показали, что небольшие среднеквадратические ошибки вычисления средних величин по интервалам не могут застраховать от более значительных погрешностей обусловленных неучетом цикличности колебаний стока. При резко выраженных трендах на определенных этапах вековой цикличности отклонения от среднего, даже за 50-летние периоды, могут быть весьма значительными (там же, с. 9, 10). Поэтому задача выявления циклов и трендов в многолетних колебаниях гидрометеорологических характеристик является одной из важных задач и подробно рассмотрена в монографии (Рассказова, 2003).

Таким образом, задача выбора репрезентативного периода для исследования пространственно-временной структуры полей стока до сих пор остается полемичной. В связи с этим автором были проведены дополнительные исследования.

Для рядов средних годовых расходов рек Тобольского бассейна, с помощью ИС-технологии «Природа» были построены *нормированные* разностные интегральные кривые. Их образец приведен на рис. 2.4. По ним с учетом цикличности и тренда (см. гл. 3) определялись репрезентативные периоды для исследования многолетних колебаний стока рек, для которых рассчитывались оценки нормы стока, коэффициентов вариации и асимметрии. Затем эти же параметры рассчитывались для наибольшей длины реализации по каждому ряду, имеющемуся в базе данных ИС-технологии «Природа» и за период с 1931 по 1960 гг., рекомендованный ВМО (Climatic Change, 1966). Этот период характеризует гелиофизическую эпоху – фазу интенсивного роста солнечной активности при преобладании меридиональных форм циркуляции.



*Условные обозначения:*

*1 – Тура-Верхотурье; 2 – Ляля-Среднесалтановка; 3 – Сосьва-Денежкино;  
3 – Ивдель-Ивдель; 4 – Сосьва-Новая Пристань*

*Рис. 2.4. Разностные интегральные кривые многолетних колебаний годового стока рек бассейна р. Тобол*

Сопоставление среднеквадратических ошибок вычислений параметров по всем периодам показало (как и предполагалось), что для подавляющего большинства рек, ошибки вычисления параметров меньше за наибольший период. В связи с этим, а также с вышеизложенными особенностями отбора репрезентативных данных, при исследовании

временной структуры полей стока (ведущих ритмов) использовался наибольший интервал наблюдений по каждому ряду. Это позволяет выявить в ряду ритмы максимальной длительности. Для расчета фаз и амплитуд выявленных ритмов, а также для исследования пространственной структуры многолетних колебаний стока рек методом кластерного анализа, использовался наибольший период совместных наблюдений с 1931 по 1987 гг. (56 лет).

Во-первых, этот период включает полный цикл колебаний водности рек исследуемой территории. Во-вторых, он находится на восходящей (80-летней) «ветви» графика солнечной активности и сочетает периоды, включающие эпохи С и Е, которые имеют большие различия по условиям формирования стока. Ранее, исследованиями Шкляева (1967), Орловой (1968) и Рассказовой (2003) установлено, что многолетние колебания стока рек Урала и Приуралья имеют достаточно высокий уровень корреляции ( $0,5 \leq R \leq 0,7$ ) с повторяемостью форм а.ц. С и Е. В-третьих, этот период является наибольшим периодом *совместных* наблюдений для подавляющего большинства рек исследуемой территории. Последнее связано с тем, что с переходом на рыночную экономику данные для научных исследований стали дорогостоящими и труднодоступными, поэтому в базе данных ИС-технологии «Природа» для большинства створов рек исследуемой территории совместные наблюдения ограничены 2000 годом. Это ничуть не умаляет корректности полученных результатов, т. к. для уточнения результатов исследований применены дополнительные и перекрывающиеся периоды исследований, рекомендованные М.С. Олдендерфером, Р.К. Блэншфилдом (1989). Их применение даёт возможность привлечь максимальное количество гидрологических данных для проведения исследований в условиях сокращения гидрометеорологической сети и обосновать кластерное решение при исследовании пространственной структуры. Такой характер исследований рекомендован также ВМО.

Выбор дополнительных (контрольных) периодов исследования для бассейна Тобола связан с рядом условий. Во-первых: до 1930 г. сеть гидрометеорологических постов в бассейнах была развита слабо, после 1930 г. она значительно расширилась. Во-вторых: после 1960 г. ряд постов был закрыт или перенесен. Таким образом, исторически сложилось так, что в бассейне Тобола значительное количество рек имеют одновременные наблюдения за естественным режимом либо с 1931 по 1960 гг., либо с 1961 г. по настоящее время. Именно поэтому указанные периоды взяты в качестве дополнительных для исследования многолетних колебаний стока рек в бассейне Тобола. Период с 1931 по 1960 гг. взят также в качестве дополнительного с целью сравнимости результа-

тов исследований, выполненных автором ранее по бассейну р. Тобол (Рассказова, 1992). Согласно алгоритму подготовки данных для целей исследования, после выбора репрезентативного периода, (см. п. 2.1), проводилось восстановление пропусков в рядах наблюдений, при необходимости удлинение рядов, проверка их на однородность. В заключение проводился итоговый анализ режимной информации.

### **2.1.3. Восстановление пропусков в рядах наблюдений и удлинение исходных рядов**

При отборе рек для исследования многолетней ритмики колебаний стока рек необходимо стремиться к тому, чтобы наблюдения были по возможности непрерывными. Для анализа временных рядов наилучшими из них считаются те, в которых не более 10 % пропусков от общей длины ряда (Гренджер, Хатанака, 1972, с. 204). В слабо изученных районах такое требование практически выдержать очень трудно, поэтому исследователи, как правило, пользуются рядами, содержащими до 20 % пропусков (Румянцев, Бовыкин, 1985, с. 74). Пропуски в рядах наблюдений перед началом исследований необходимо восстанавливать. Восстановление естественного речного стока осуществляется регрессионными методами с использованием парной и множественной корреляции или водобалансовыми методами (Международное руководство..., 1984, с. 6). При недостаточной продолжительности рядов наблюдений возможно их удлинение по данным рек – аналогов с более продолжительными рядами.

Удлинение рядов производится в том случае, если при использовании репрезентативного ряда (с 1931 по 1987 гг.) не хватает данных в начале или в конце ряда. Кроме того, согласно теории повторной выборки (Олдендерфер, Блэншфилд, 1989), применяемой при исследовании пространственной структуры полей стока рек, использовались дополнительные выборки, например выборка, рекомендованная ВМО (1931–1960 гг.) или выборки, соответствующие определенным эпохам атмосферной циркуляции. В случае если отсутствовали данные в начале или конце ряда такой выборки, производилось удлинение ряда. Эти данные, также как и восстановленные пропуски данных измерений внутри рядов, помечены в базе данных ИС-технологии «Природа» красным цветом (в отличие от данных, не отличающихся высокой надежностью, окрашенных в синий цвет, см: URL: [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623)). При этом соблюдалось требование, что общее количество восстановленных данных (в начале или в конце ряда, а также пропуски в середине ряда) в сумме не должно превышать 20 % от исходной длины ряда.

Выбор методов восстановления определяется наличием и качеством необходимой гидрометеорологической информации. При изучении пространственно-временной изменчивости природных явлений необходим комплексный учет влияния всех видов хозяйственной деятельности. В этом случае применяют регрессионные методы.

Таблица 2.2

Сведения к восстановлению пропусков  
в наблюдениях за годовым стоком рек\*

№ ряда в БД	Наименование ряда и ряда – аналога	Параметры восстановления				
		Уравнение регрессии	Годы восстановления стока	Совместный период наблюдений	Коэфф. корреляции	Ошибка коэфф корр.
149	Сосьва – Денежкино	$y = 4,03 + 1,97 * x$	1931	41	0,91	10 %
	Ивдель – Ивдель Тура- Верхотурье	$y = 11,28 + 1,13 * x$	1932, 1933	23	0,80	
	Сосьва – Новая Пристань	$y = 6,34 + 0,47 * x$	1940, 1946	29	0,98	
143	Сосьва – Денежкино	$y = -2,95 + 4,41 * x$	1931; 1976–1978;	29	0,92	2,8 %
	Ивдель – Ивдель	$y = -13,54 + 2,14 * x$	1982–1984	29	0,98	
169	Сосьва – Новая пристань	$y = 2,34 + 0,49 * x$	1931; 1932–1939,	14	0,71	5 %
	Тура – Верхотурье	$y = 0,05 + 0,16 * x$	1960–1965	20	0,97	
152	Тогузак – Тогузак	$y = 0,86 + 0,13 * x$	1965, 1966, 1976	21	0,89	2 %

\*Для уравнений регрессии соблюдены условия:  $R \geq 0,7$ ;  $R/\sigma_R \geq 2$ ;  $k/\sigma_k \geq 2$ . В таблице приняты следующие обозначения:  $R$  – парный коэффициент корреляции между восстанавливаемым рядом наблюдений и рядом – аналогом;  $n$  – число совместных наблюдений, за который вычислены  $R$  и  $k$ ;  $k$  – коэффициент регрессии;  $G_R, G_k$  – среднеквадратические ошибки значений  $R$  и  $k$ .

Восстановление естественного стока или удлинение рядов на основе регрессионных методов производится по данным о стоке бассейнов – индикаторов, имеющих естественный режим за весь период наблюдений или, по крайней мере, за восстанавливаемый промежуток лет. Восстановление стока рек может производиться также по основным стокообразующим метеорологическим факторам: осадкам, температуре.

Оценка надежности восстановленного стока осуществляется общепринятыми статистическими методами «Международное руководство..., 1984, с. 7». Требования, предъявляемые к выбору рек – аналогов излагаются в инструкциях и руководствах «Пособие по определению..., 1984»; «Международное руководство..., 1984».

При выборе пункта – аналога часто возникает дилемма: использовать для восстановления пропусков и удлинения рядов более продолжительный ряд наблюдений, но с меньшим коэффициентом корреляции или, наоборот, менее продолжительный ряд с более тесной связью между стоком в этих пунктах? При значениях  $R \geq 0,8$  параметры распределения и средние годовые значения используемой гидрологической характеристики восстанавливаются достаточно точно. Если  $0,7 < R < 0,8$ , то разумен компромиссный вариант: сочетание наибольшей продолжительности наблюдений с возможно более тесной связью приводимого ряда и предлагаемого аналога «Международное руководство..., 1984, с. 76».

Сведения об уравнениях регрессии, по которым восстановлены значения средних годовых расходов в рядах наблюдений, приведены в табл. 2.2. Следующим этапом подготовки данных в ИС-технологии «Природа» после восстановления пропусков является *испытание рядов на тренд*, т. к. из-за наличия в ряду тренда результаты их проверки на однородность могут оказаться неверными «Международное руководство..., 1984».

#### **2.1.4. Оценка тренда временных рядов.**

##### **Проверка рядов на однородность**

Трендом именуется однонаправленная составляющая ряда, показывающая возрастающую или убывающую тенденцию динамики процесса. Оценка тенденции в многолетнем ходе стока рек проводится по всем створам, на которых намечается осуществление тех или иных водохозяйственных мероприятий. В природных временных рядах существует два вида трендов – естественные и антропогенные. В большинстве случаев наблюдается естественный тренд, являющийся следствием климатического тренда. Разграничение трендов представляет достаточно

сложную задачу. В случае обнаружения значимой однонаправленной составляющей (определяется оценкой коэффициента в уравнении тренда) (Дунин-Барковский, Смирнов, 1955, с. 416) необходимо тщательное изучение архивных материалов с целью получения знаний обо всех проводимых водохозяйственных мероприятиях: водосбросах и водозаборах, строительстве гидротехнических сооружений и т. д. Разделение однонаправленной составляющей на естественную (климатическую) и антропогенную важно для решения вопроса о необходимости извлечения тренда в случае нарушения временных рядов антропогенными функциями. Приведение рядов к естественному (ненарушенному виду) необходимо при решении ряда водохозяйственных и водноэнергетических задач. Прежде всего, это необходимо при определении расчетного периода для оценки нормы годового стока, вычисления коэффициентов вариации ( $C_V$ ) и асимметрии ( $C_S$ ), а также их соотношения – ( $C_S/C_V$ ). Эти расчетные характеристики учитываются в водохозяйственном и водноэнергетическом проектировании на стадии разработки проектов. Их расчет за репрезентативный период приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3

*Расчетные характеристики  $C_V$ ,  $C_S$ , ( $C_S/C_V$ ) за репрезентативный период (1931–1937 гг.) (фрагмент)*

Наименование ряда	Норма ряда	Стандартное отклонение	Коэфф. вариации	Ошибка коэфф. вариации	Коэфф. асимметрии	Ошибка коэфф. асимметрии	$C_S/C_V$
Бассейн р. Тобол							
Миасс – Каргополье	19,81	10,98	0,57	10,78	1,26	15,06	2,21
Ивдель – Ивдель	21,15	5,79	0,27	9,71	0,82	12,11	2,99
Сосьва – Денежкино	37,95	11,98	0,32	9,82	0,71	11,48	2,25
Лобва – Лобва	20,31	6,62	0,33	9,85	0,45	10,29	1,39
Уй – Степное	5,27	4,26	0,70	11,45	1,00	13,27	1,43
Тагил – Малыгина	18,36	7,33	0,39	10,05	0,49	10,41	1,25
Реж – Ключи	12,33	5,91	0,47	10,36	0,88	12,50	1,87

Приближенная оценка однонаправленной тенденции в стоке рек исследуемой территории считается также одной из важных задач в изучении многолетней ритмики стока. Сложность ее заключается в том, что единого правила для оценки и устранения тренда на данный момент не

существует. Исследование гидрологических рядов показывает, существование устойчивых трендов в среднем арифметическом значении временного ряда ( $X$ ). Причину тренда во временных рядах стока рек многие исследователи связывают с климатическим трендом температуры воздуха и атмосферных осадков, а также интенсивным развитием хозяйственной деятельности в бассейнах рек. Как указывалось выше, исследование длительных тенденций крайне необходимо для правильной оценки изменчивости колебаний стока и его нормы, а также для разработки методов долгосрочных гидрологических прогнозов.

Знание трендовой составляющей имеет большое значение, но ее анализ затруднителен. Тренд, полученный при малом количестве данных, при увеличении их числа может оказаться частью продолжительного цикла. Российскими и зарубежными учеными накоплен определенный опыт в вопросах оценки и извлечения тренда (Гренджер, Хатанака, 1972; Денисов, 1975; Е.А. Леонов, В.Е. Леонов, 1980, 1982, 1990 и др.). Он позволяет определять наличие и величину тренда во временных рядах, а также производить, в случае необходимости, извлечение антропогенной однонаправленной составляющей.

При исследовании рядов средних годовых расходов рек исследователи имеют дело с изменяющимся средним за разные периоды наблюдения. Для оценки тренда в математике применяются три метода (Гренджер, Хатанака, 1972): полиномиальная регрессия; гармоническая регрессия; фильтрация.

Все три метода достаточно эффективно обнаруживают и исключают большую часть тренда. Выбор метода зависит от цели исследования и имеющейся длины реализации. Так, например, для выделения климатических трендов временные ряды подвергают фильтрации, которая осуществляется посредством применения операторов скользящего сглаживания. Такой оператор имеет достоинство – простоту и недостаток – плохую частотную характеристику.

Часто для выделения климатических трендов используют алгебраические полиномы первой, второй и даже третьей степени. Однако интерпретация оценок трендов высокого порядка часто затруднена. Поэтому, для определения масштаба и знака, наблюдавшихся на некотором отрезке тенденций изменения климатических переменных, наиболее целесообразно использовать *только линейные тренды* (К.Я. Винников, 1986).

В настоящее время большинство рек подвержено интенсивному хозяйственному использованию, поэтому методы гидрологических расчетов, предполагающие стационарность или квазистационарность гидрологических процессов не всегда приводят к корректным результатам. С учетом вышеизложенного наиболее подходящим методом испытания

временных рядов на тренд является метод фильтрации с фильтром «простое скользящее осреднение» (скользящее осреднение с равными весами). Этот метод относится к числу параметрических.

Ряды наблюдений за природными объектами и их параметры могут иметь самые разнообразные функции распределения, поэтому в дополнение к параметрическим методам необходимы свободные от распределений непараметрические методы. Наиболее простыми и часто употребляемыми в целях установления статистической независимости данных и выявления тренда являются критерий серий, критерий инверсий (Вилькоксона), статистика  $P$ .

Методика и алгоритм исследования трендовой составляющей временных рядов подробно изложены в многочисленной литературе, как математической (Дунин-Барковский, Смирнов, 1955; Гренджер, Хатанака, 1972; Худсон, 1980; Бендат, Пирсол, 1989 и др.), так и гидрологической (Денисов, 1975; Никифоров, 1983; Международное руководство..., 1984 и др.).

Испытание на тренд гидрометеорологических рядов рекомендовано ВМО (Technical note № 79, Climatic change, 1966). Тренд исследуется в предположении линейной связи между временем  $x$  и средним значением ряда данных  $y$ :

$$y = ax + b, \quad (2.1)$$

где  $a$  и  $b$  – это соответственно отрезок оси ординат отсекаемый прямой и ее наклон.

Общепринятая процедура определения коэффициентов уравнения состоит в выборе таких значений  $a$  и  $b$ , которые минимизируют сумму квадратов отклонений наблюдаемых значений от предсказанного значения  $y$ . Эта процедура изложена во многих учебниках и пособиях по математической статистике (Дунин-Барковский, Смирнов, 1955; Христов, 1986, 1993 и др.) и называется методом наименьших квадратов.

Значимость тренда и доверительная вероятность его наличия в ряду определяются значением статистики  $P$ , имеющей пределы изменения от  $-1$  (убывающий тренд) до  $+1$  (возрастающий тренд). При исследовании предполагается, что статистика имеет гауссовское (нормальное) распределение. В качестве уровня значимости в гидрометеорологии чаще всего используют 5 % уровень (Денисов, 1975; Гренджер, Хатанака, 1975; Румянцев, Бовыкин, 1985 и др.).

Оценка коэффициентов  $a$  и  $b$  выполняется с помощью критериев Фишера и Стьюдента с  $N - 2$  степенями свободы (Дунин-Барковский, Смирнов, 1955, с. 416). Степень доверия к полученным результатам определяется ошибкой коэффициента линейной регрессии  $b - G_b$ .

В ИС-технологии «Природа» расчет однонаправленной составляющей, ее оценка и устранение (в случае необходимости) реализованы двумя методами:

- 1) фильтрации с фильтром «простое скользящее осреднение» (параметрический метод);
- 2) при помощи статистики  $P$  (непараметрический метод) с последующим построением линии регрессии (процедура, рекомендованная ВМО).

Алгоритм испытания рядов на тренд, реализованный в ИС-технологии «Природа», приводится в третьей главе. После испытания рядов на тренд важным и необходимым этапом является *проверка рядов на однородность*.

Целью проверки рядов на однородность является установление принадлежности величин средних значений естественного и восстановленного рядов к одной и той же генеральной совокупности. Для этого используются различные статистические критерии, например, критерии Фишера или Стьюдента. Сущность этих критериев достаточно подробно изложена во многих учебниках и пособиях по математической статистике (Вентцель, Овчаров, 1988; Гмурман, 1977; Дунин-Барковский, Смирнов, 1955 и др.).

При анализе однородности рядов гидрометеорологических наблюдений рекомендуется *совместное* использование критериев Стьюдента и Фишера (Международное руководство..., 1984). С их помощью оценивается однородность эмпирического среднего и дисперсии соответственно. При этом выборка должна быть случайной и принадлежать нормальному распределению, что достигается, как указывалось выше, использованием реализаций длительностью не менее 30-и лет. Совместное использование критериев Стьюдента и Фишера дает надежные результаты. Оба критерия включены в пакет прикладных программ ИС-технологии «Природа» (URL: [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623)) и использовались для оценки однородности рядов.

Испытание рядов на однородность позволило сделать вывод об их однородности за исследуемые периоды. В случаях, когда после восстановления данных ряд оказывался неоднородным, производился перебор реканалогов до тех пор, пока условие однородности не выполнялось. Последним этапом подготовки данных к пространственно – временному анализу является нормирование рядов. Этот этап необходим для сравнимости результатов исследований по рядам данных, имеющих различные порядки.

### 2.1.5. Нормирование рядов данных

Нормирование распределения заключается в перенесении начала координат в центр группирования, то есть в «центрировании» и выра-

жении абсциссы в долях  $\sigma_x$ , представляющей среднее квадратичное отклонение величины  $x_i$  от среднего значения  $\bar{x}$ :

$$\sigma_x = \sqrt{\bar{S}^2}, \quad (2.2)$$

где  $\bar{S}$  – несмещенная оценка дисперсии.

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.3)$$

где  $\frac{1}{n-1}$  – коэффициент смещенности.

Эта процедура необходима при исследовании пространственно-временной структуры данных. Как указывалось выше, для исследования отбирались средние и малые по площади водосбора реки, характеризующие зональные особенности многолетних колебаний стока. Поэтому разброс в величинах их средних многолетних расходов велик. В связи с этим возникает необходимость нормирования данных. На важность этой процедуры и ее значения при исследовании многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик указывал Н.А. Багров (Алюшинская, 1974, с. 25).

Таким образом, с соблюдением всех вышеизложенных требований в бассейне Тобола отобрано 29 рядов средних годовых расходов. В результате подготовки базы данных произведено восстановление пропусков в рядах наблюдений, после чего ряды испытаны на тренд, проверены на однородность, нормированы и использованы для целей исследования пространственно-временной изменчивости многолетних колебаний стока рек.

### 2.1.6. Итоговый анализ информации о режиме рек

Режимная информация о речном стоке, публикуемая в изданиях Государственного водного кадастра (ГВК), отличается достаточно высокой надежностью. Об этом свидетельствуют установленные на ее основе закономерности. Однако, на практике встречаются погрешности в этой информации, являющиеся следствием как объективных, так и субъективных причин. Некоторые из них достаточно подробно рассмотрены А.М. Комлевым (2002, с. 104–106). Предметом исследования являлось установление количества ненадежной гидрологической информации в бассейне р. Тобол (табл. 2.3), опубликованной в ежегодниках, а также количества пропущенных данных и качества данных, восстановленных по уравнениям регрессии.

Таблица 2.3

Сведения к восстановлению пропусков  
в наблюдениях за годовым стоком рек\*

Река–пост	Река–аналог	Уравнение регрессии	Годы восстановления	T <sub>общ</sub>	R	%
Ивдель– Ивдель	Тура– Тюмень	$y = -2,63 + 0,81 * x$	1923–1925, 1927;	55	0,73	13
	Тобол– Липовское	$y = -4,69 + 0,22 * x$	1919, 1920, 1926, 1928–1932	44	0,84	
Лобва– Лобва	Тобол– Гришенка	$y = 6,96 + 5,33 * x$	1953, 1957, 1962	11	0,83	8
Тогузак– Тогузак	Тогузак– Тогузак	$y = -6,40 + 7,46 * x$	1961, 1962, 1971	21	0,89	11
	Тобол– Звериного- ловское	$y = -0,75 + 0,17 * x$	1963, 1984	12	0,80	
Аят– Варва- ринка	Ивдель– Ивдель	$y = -4,03 + 1,97 * x$	1931	41	0,91	9
	Тура– Верхотурье	$y = 11,28 + 1,13 * x$	1932, 1933	23	0,80	
	Сосьва– Новая Пристань	$y = 6,34 + 0,47 * x$	1940, 1946	29	0,98	
Ляля– Средне- салтанов- ка	Ивдель– Ивдель	$y = -2,95 + 4,41 * x$	1931, 1976–1978,	29	0,92	13
	Сосьва– Денежкино	$y = -3,54 + 2,14 * x$	1982–1984	29	0,98	
Камыш- лы–Аят- Масло- ковцы	Исеть– Каменск- Уральский	$y = -7,17 + 1,29 * x$	1938, 1939	17	0,84	6
Вагран– Северо- уральск	Тобол– Ялutorовск	$y = -1,73 + 0,55 * x$	1986	43	0,94	4

Примеры восстановления рядов данных по уравнениям регрессии\*

\* R – коэффициент корреляции рядов; T<sub>общ</sub> – общий период наблюдений; % – процент восстановленных данных

При анализе проверялось соответствие данных следующим требованиям:

1) количество недостаточно надежных данных, помещенных в ОГХ и ежегодниках (приведены в ОГХ в круглых скобках, а в базе

данных ИС-технологии «Природа» – URL: [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623)), не должно превышать 20 %;

2) количество восстановленных данных (в базе данных помечены красным цветом) не должно превышать 20 % длины исходного ряда;

3) коэффициент корреляции при восстановлении пропущенных данных по рекам – аналогам должен быть не менее 0,70;

4) ошибка коэффициента корреляции не должна превышать 15 %.

В результате анализа информации, используемой для исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол, выявлено 6 случаев, когда не удовлетворяется одно из указанных требований (табл. 2.4).

Таблица 2.4

*Результаты анализа информации о режиме рек*

№ в базе данных	Наименование ряда	Требования (см. по тексту)			
		11	12	33	44
157	Тура – Верхотурье	*	*		
159	Тагил – Малыгина		*		
160	Тура – Туринск				*
167	Ляля – Среднесалтановка		*		
168	Ивдель – Ивдель		*		

Несоответствия перечисленным требованиям отмечены в таблице значком. В таблице приведены результаты анализа режимной информации для постов, используемых для целей исследования их пространственно-временной структуры. Часть режимной информации, приведенная в табл. 2.4, может быть использована при исследовании пространственно-временной структуры полей стока рек на определенных условиях, в частности для постов, где не соблюдаются только первое и второе из перечисленных требований. Это возможно в том случае, если для исследования используется не вся реализация, а ее часть, не содержащая пропусков и ненадежных данных или содержащая небольшое количество пропусков, в пределах 10 % от используемой длины реализации (например, при исследовании синхронности многолетних колебаний годового стока по эпохам а.ц.).

## **2.2. Методика исследования временной структуры рядов. Оценка достоверности результатов**

Методы исследования циклических вариаций, используемые в гидрологии и метеорологии, рассматриваются подробно во многих науч-

ных трудах, учебниках и учебно-методических пособиях (Саруханян, Смирнов, 1971; Агарков, Дружинин и др., 1973; Раткович, 1976; Глазычева, 1977; Резниковский, 1980; Рождественский, 1988 и др.). Кратко остановимся на сущности, достоинствах и недостатках методов, которые применяются для выявления ритмических составляющих в ИС-технологии «Природа»: Фурье-анализ и нормированные разностные интегральные кривые.

Фурье-анализ (классический гармонический анализ – к.г.а.) привлекает многих исследователей стабильностью и конкретностью результатов и дает представление о фазах и амплитудах режимных характеристик. Он является строгим математическим методом, дает наиболее точные результаты и, зачастую позволяет выявлять закономерность там, где она непосредственно не усматривается. При этом самым важным обстоятельством является то, что в результате анализа явно выступают амплитуды и начальные фазы гармонических компонент, вследствие чего становится возможным установить сходство или различие в разных сериях наблюдаемых величин, измеренных в различных местных условиях. Знание амплитуд очень важно с точки зрения оценки реальности существования выявленных циклических вариаций, т. к., если эти составляющие имеют большие амплитуды, то их наличие совершенно очевидно (Бендат, Пирсол, 1983).

Во многих случаях проведенный гармонический анализ устраняет неправильное представление или ложные теории о наличии тех или иных ритмически изменяющихся причин, их эффективности и взаимосвязи. Все вместе взятое делает из гармонического анализа один из важнейших инструментов научного исследования, где необходима обработка наблюдаемых величин. Этот метод выбран в качестве основного для целей выявления циклических вариаций. Его использовали в своих исследованиях Koflanovits, 1977; Апасова, 1984; Стиметс, 1985; Андреева, Рассказова, 1986 и др.

Фурье-анализ относится к стандартным методам моделирования. Подробное описание метода даётся в работах Серебрянникова, 1965; Самнера, 1981; Бендат, Пирсол, 1989; Вентцель, 1986 и др.

Поскольку природа многолетних колебаний стока изучена недостаточно, то для моделирования этого процесса лучше использовать стандартные методы, т. к. при неверном его выборе «...оценка спектра будет совершенно ошибочной и, скорее всего, будет обладать худшими свойствами, чем оценка, полученная с помощью стандартных методов» (Бендат, Пирсол, 1989).

К сожалению, приёмы оценки спектральной плотности, «...по существу являющейся единственным параметром, при оценивании кото-

рого можно сделать разумные допущения и получить практическую формулу, связывающую длину реализации и ошибку оценки» (там же, с. 397) в методе Фурье-анализа разработаны недостаточно. В настоящее время в практике используются две численные схемы оценки спектральной плотности (Блекмана-Тьюки и Кули-Тьюки), достаточно подробно изложенные в работе Бендата, Пирсола (1983). В авторской ИС-технологии «Природа» для оценки спектральной плотности использована методика, аналогичная методике Кули-Тьюки. Она заключается в нахождении гармоник путём разложения в ряд Фурье имеющегося ряда наблюдений и последующей оценке вклада каждой гармоники в общую дисперсию признака. Вообще, «...строго говоря, никакие статистические методы анализа не позволяют с полной уверенностью доказать наличие периодических компонентов в конечной реализации случайного процесса. Поэтому тесты целесообразно сочетать с априорными данными и физическими соображениями» (Бендат, Пирсол, 1989, с. 343). Этим рекомендациям мы и будем следовать в дальнейшем.

Задача выявления скрытой периодичности считается решённой окончательно, если выявлены амплитуды и начальные фазы для различных циклов колебаний. Описанная выше методика выявления циклических вариаций, апробирована в работах Рассказовой и др. (1986, 1992, 2003) на примере рек Среднего и Южного Урала. В результате исследования были выявлены ведущие ритмы в многолетних колебаниях стока рек территории Тобольского бассейна и выполнено районирование территории по ведущим ритмам. Полученные результаты подтвердили выводы Андреевой, Рассказовой (1986), Гуляевой (1989) и позволили сделать новые. Так, например, исследование пространственно-временной структуры полей стока рек по различным эпохам атмосферной циркуляции позволило установить на территории бассейна наличие «переходных зон» и определить их вероятное положение. Впоследствии было выявлено, что посты, попадающие в эти зоны, отличаются, как правило, от других переменным трендом в многолетних колебаниях стока рек.

Основное достоинство Фурье-анализа в том, что при его применении к исходным рядам наблюдений информация, содержащаяся в этих рядах, не теряется. К недостаткам данного метода можно отнести зависимость получаемых периодичностей от длины исходного ряда. Ряд наблюдений всегда должен содержать четное количество значений, так как при разложении в ряд Фурье временной ряд представляется в виде суммы среднего арифметического ряда данных ( $X$ ) за период  $-P$ ,  $(N/2 - 1)$  – количества синусов и  $N/2$  – количества косинусов. Другой недостаток метода – появление шумов в коротких рядах наблюдений. Первым признаком шума в таких рядах служит обнаружение периода, равного

периоду наблюдений. Для опровержения реальности существования «шумовых» периодов на практике используются дополнительные методы, например, *нормированные разностные интегральные кривые*. Они дают наглядное визуальное представление о ритмах колебаний. Интегральные кривые используются также как самостоятельный метод для оценки водности коротких периодов наблюдений. В литературе их часто называют кумулятивными (накопительными). Суть метода подробно изложена в ряде литературных источников (Глазычева, 1977; Самнер, 1981 и др.).

Достоинство этого метода заключается в том, что при его применении структура ряда фактических наблюдений проявляется более четко, и легче выявляются более длительные циклы за счет исчезновения коротких. Недостатком метода разностных интегральных кривых считается тот факт, что при последовательном интегрировании данных влияние случайных составляющих не гасится, а, напротив, усиливается пропорционально  $\sqrt{n}$ , где  $n$  – порядковый номер члена в данном ряду.

Накопление случайных погрешностей может перекрыть влияние реальных циклических колебаний и создать ложное впечатление о наличии длинных циклов, которых в действительности не существует. Здесь более эффективны другие методы, например, Фурье-анализ. Методы взаимно дополняют друг друга и помогают избежать ошибок в выявлении ложных периодичностей. Оба метода являются составной частью ИС-технологии «Природа».

### **2.3. Методика исследования пространственной структуры многолетних колебаний речного стока**

Методика исследования пространственной структуры многолетних колебаний речного стока базируется на авторской версии кластерного анализа и оценке достоверности кластерного решения.

Для уточнения вероятного положения границ районов полученных по результатам исследования временной структуры полей стока рек, необходимо изучение их пространственной структуры. В настоящее время для этой цели применяют математические методы, дающие возможность одновременно определять согласованность колебаний стока большого количества рек. Одним из таких методов является – непосредственный анализ корреляционной матрицы. При указанном выше достоинстве он является достаточно трудоёмким. С целью снижения трудоёмкости процесса анализа матриц больших размеров сотрудниками кафедры гидрологии суши МГУ разработан ряд алгоритмов (Жук, Евстигнеев, 1976; Жук, Романова, 1981). Они полностью реализованы на

ПЭВМ. В качестве меры схожести временных рядов в этих алгоритмах, как правило, используется коэффициент парной корреляции. Согласно классификации В. Райзина (1980), они относятся к разряду спецалгоритмов кластерного анализа.

Алгоритмы, разработанные в МГУ, являются универсальными, что показано его авторами на конкретных примерах районирования различных типов территорий, например, Большого Кавказа (Жук, Романова, 1981), где перепады высот достигают более 2000 м или европейской территории бывшего СССР (Акименко, Евстигнеев, 1999). Это избавляет исследователей, ведущих районирование горно-равнинных территорий (в нашем случае бассейна р. Тобол) производить отдельное районирование горной и равнинной местности.

В используемом авторами приёме оценки синхронности привлекает внимание удобное схематическое представление результатов вычисления в виде дендрограммы (дерева ветвления), показывающей какие группы рек (кластеры) образуются на заданном уровне корреляции (сходства).

Большинство авторов, например, Т.Н. Кочукова (1955), П.С. Кузин (1979) и др. при исследовании синхронности колебаний задаются уровнем сходства  $R = 0,5$  или критическим уровнем парной скоррелированности  $R = 0,2$  (Акименко, Евстигнеев, 1999 и др.). Однако выбор этих уровней недостаточно обоснован авторами с позиции поставленной цели и не всегда они дают наилучшие результаты районирования. Для сравнительно небольших территорий он может быть значительно выше данного уровня сходства. Работа с этими алгоритмами показала, что результаты исследований в них зависят от шага разбиения (параметра алгоритма  $\Delta R$ ). Поэтому возникла необходимость корректировки алгоритма, в процессе которой была создана авторская версия кластерного анализа.

Преимущество авторской версии кластерного анализа заключается в том, что она позволяет свести к минимуму субъективизм при выборе оптимального уровня сходства и числа кластеров. С применением авторского варианта кластерного анализа (Рассказова, 2002, 2003) выполнено комплексное исследование многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол. Исследования показали универсальность методики и алгоритма авторской версии кластерного анализа:

- 1) возможность наиболее объективного выбора уровня сходства для определения оптимального числа районов;
- 2) возможность производить оценку достоверности полученных результатов;
- 3) возможность совместного исследования горных и равнинных территорий.

Эти преимущества позволили автору рекомендовать авторскую версию кластерного анализа для исследования пространственно-временной структуры природных объектов и процессов. Ниже приводится подробное изложение авторской версии кластерного анализа.

Непосредственно перед изложением метода исследований дадим некоторые определения. *Объектом* называется ряд чисел длиной  $N$  (в нашем случае ряд средних годовых расходов рек за  $N$  лет). Кластером называется группа объектов, попарная корреляция между которыми выше заданного уровня сходства ( $R$ ), где  $1 \leq R \leq 1$ .

Кластеризация  $N$  объектов, характеризуемых  $M$ -признаками в выбранном методе производится на основе матрицы парных коэффициентов корреляций, характеризующей синхронность колебаний стока рек, таким образом, чтобы сходные объекты, обладающие близкими значениями признаков, попадали в один кластер. В матрице  $x(i, j)$  каждая  $i$ -ая строка содержит  $M$  признаков. В качестве меры близости между  $i$  и  $j$  объектами, как уже указывалось, в данном методе принят  $R$ :

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{i,k} - \bar{x}_i)(x_{j,k} - \bar{x}_j)}{\sum_{k=1}^m (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^m (x_{j,k} - \bar{x}_j)^2}, \quad (2.4)$$

где  $\bar{x}_i$  – среднее по  $i$ -ой строке.

Кратко алгоритм авторской версии кластерного анализа рассмотрен ниже на примере исследования синхронности многолетних колебаний годового стока рек бассейна р.Тобол за репрезентативный период (1931–1960 гг.) и состоит в следующем.

В массиве данных (данные заносятся в электронную таблицу *MS Excel* на лист с названием «Ряды»), единичные объекты (кластеры) разделены пробелами (см. графу кластеры в табл. 2.5 строка 1, при  $R=1,00$ ). Левая часть таблицы содержит количественные оценки качества кластеризации, о которых речь пойдет позднее.

В табл. 2.6 приведена информация об объектах (реках), использованных при построении дендрограммы:

1) в результате расчета  $R_{i,j}$  между всеми имеющимися объектами, кластеры сдвигаются вправо на количество присоединяемых рядов. Объединяемые кластеры разделяются штрихами (см. табл. 2.5, строки 2–6).  $K_{2i-1} = NR_i$ ;  $K_{2i} = 0$ ;  $i = 1, 2 \dots N$ , т. е. на нечётных местах в массиве  $\{K\}$  стоят номера рек, а на чётных – штрихи;

2) находим пару объектов с максимальной мерой близости:

$$\rho_{\max_{i \neq j} i, j} = \max R_{\{i\}\{j\}} \quad (2.5)$$

среди всех возможных пар кластеров на первом уровне сходства. Если  $\rho_{max} < R_1$ , то формирование первого уровня дерева ветвления заканчивается:

$$R_1 = 1 - \Delta R \quad (2.6)$$

Таблица 2.5  
Расчетная дендрограмма за период с 1931 по 1960 гг. (образец)

№ уровня	R	$J_1$	$J_2$	$J_1 - J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	0,000	0,627	-0,627	-1,00	134 135 136 137 138 139 140 142 143 144 145....154
1	0,90	0,614	0,602	0,012	0,01	134-137-136 135-140 138 139-146-154 142-148-147 143....150
2	0,80	0,760	0,580	0,180	0,13	134-137-136-143-144 135-140-150 139- 146-154 142-148-147
3	0,70	0,876	0,562	0,314	0,22	134-137-136-143-144 135-140-150-145 138-139-146-154
–	–	–	–	–	–	–
5	0,50	0,784	0,488	0,296	0,23	134-137-136-143-144-142-148-147-149
–	–	–	–	–	–	–
10	0,00	0,627	0,000	0,627	1,00	134.....154 (все объединены в один кластер)

Таблица 2.6  
Посты, использованные при построении дендрограммы

№ ряда	Наименование ряда	№ ряда	Наименование ряда	№ ряда	Наименование ряда
134	Тобол–Липовское	140	Тобол – Курган	147	Ивдель – Ивдель
135	Тобол – Ялуторовск	142	Сосьва – Новая Пристань	148	Сосьва – Денеж- кино
136	Тавда – Тавда	143	Тура – Туринск	149	Лобва – Лобва
137	Тура – Тюмень	144	Ница – Ирбит	150	Уй – Степное
138	Исеть – Мехонское	145	Пышма – Богандин- ское	154	Миасс – Соснов- ское
139	Исеть – Исетское	146	Миасс – Каргополье		

3) если  $\rho_{max} \geq R_l$ , то кластеры  $i, j$  объединяются в один. Для этого, кластеры, стоящие правее  $K_j$ , сдвигаются вправо, а кластер  $K_i$  переносится на освободившееся место;

4) ищем пару кластеров с максимальной мерой близости среди всех кластеров данного уровня:

$$\rho_{max i,j} = \max_{i \neq j} R_{\{i\}\{j\}} \quad (2.7)$$

Если  $\rho_{max} \geq R_l$ , то объединяем кластеры  $i, j$  и т. д. Когда окажется, что  $\rho_{max} < R_l$  формирование кластеров на первом уровне заканчивается;

5) после пункта 4 в массиве  $K$  стоят все возможные кластеры первого уровня, разделённые штрихами (см. табл. 2.6);

6) изменяем уровень сходства на величину  $\Delta R$  и формируем кластеры нового уровня сходства аналогично первому;

7) кластеры второго уровня объединяются затем в кластеры третьего и т. д., до тех пор, пока последние два кластера не объединятся в один;

В результате вычислений в массиве  $\{K\}$  – окажутся номера объектов, расположенные в порядке, удобном для графического изображения дендрограммы (рис. 2.5). В массиве  $\{R\}$  – информация о том, на каком уровне сходства соответствующий объект вошёл в состав того или иного кластера при условии 2;

8) если  $\rho_{max}$  меньше установленного коэффициента корреляции для уровня  $n$ , то новых кластеров на этом уровне не образуется. На экран компьютера выводятся номера объектов, объединённых в кластеры на уровне  $n$  и значение  $R_n$ ;

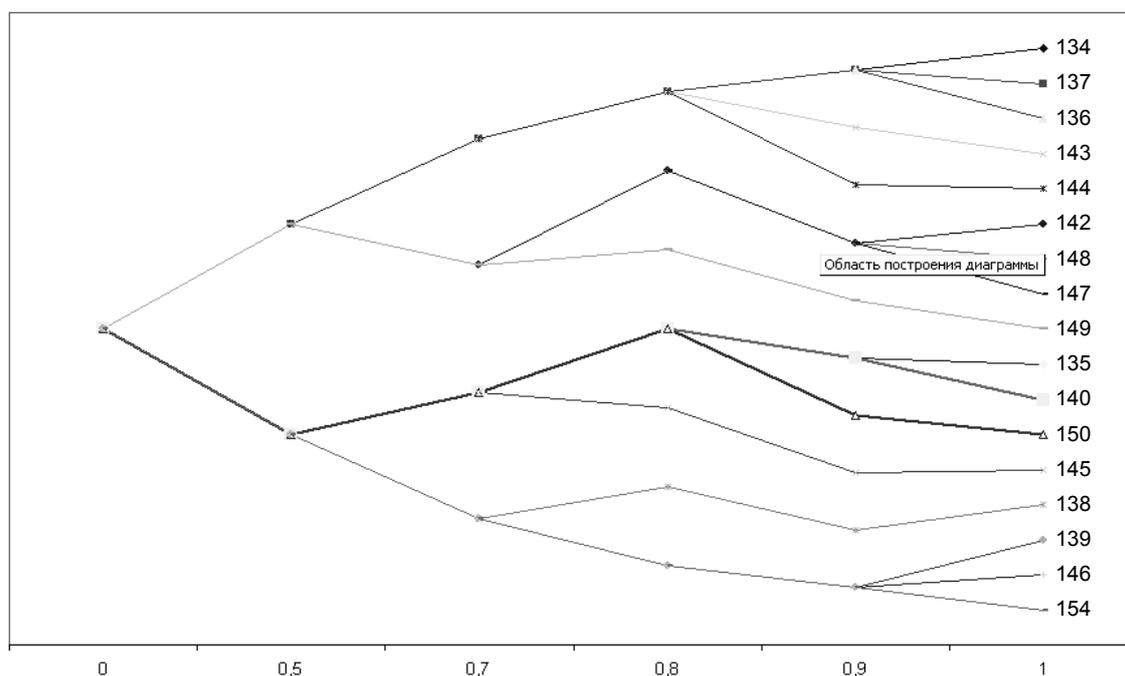
9) в противном случае создается новый кластер из двух и осуществляется переход к п. 6. На экран дисплея выводятся номера объектов в порядке их объединения, входящие в общий кластер  $\{K\}$  и значение  $R_n$ , при котором происходит объединение всех объектов;

10) далее увеличиваем номер уровня на величину  $\Delta R$ . Переходим к п. 4. И так до тех пор, пока все кластеры не объединятся в один. На этом формирование дендрограммы завершается (рис. 2.5).

Изменения, внесенные в алгоритм, разработанный на кафедре гидрологии суши МГУ преследовали две цели: устранение зависимости конечного результата (дерева ветвления) от шага разбиения и улучшение сервиса программы. Для этого при поиске объекта, ближайшего к кластеру, сформированному на первом уровне из двух максимально связанных объектов ( $R = \max$ ) был произведен перебор всех пар кластеров с максимальной мерой близости среди всех пар кластеров данного уровня. Иначе возможно изменение дерева ветвления при изменении шага разбиения. Последнее означает получение другого дерева ветвления (дендрограммы).

Авторская версия кластерного анализа даёт неизменную схему классификации объектов, при любом значении  $\Delta R$ . Реализация алгоритма на ПЭВМ, дает возможность задаваться любым шагом разбиения, например, от 0,1 до 0,01 и с соответствующей точностью получать числовое значение уровня, на котором происходит объединение рек в группы (кластеры). Это достижимо благодаря возможности слежения за динамикой их объединения. Как указывалось выше, результаты исследования пространственной структуры выдаются исследователю в виде дендрограммы (см. рис. 2.5), где на горизонтальной оси указан  $R$  – уровень сходства объектов. В ИС-технологии «Природа» она строится одновременно с ее расчетом.

При помощи вышеизложенного алгоритма можно решать задачу выделения однородных групп рек (классификации) по любому признаку. Но это не значит, что эта задача теперь разрешима абсолютно. Ее надо понимать так, что при помощи предлагаемого автором алгоритма в настоящее время имеется возможность сделать ее решение более объек-



*Рис. 2.5. Дендрограмма синхронности многолетних колебаний годового стока рек бассейна р. Тобол за период с 1931 по 1960 гг.*

тивным. Полностью устранить субъективизм невозможно. В решении данной задачи он будет проявляться в выборе рек и створов, меры измерения степени согласованности колебаний стока, метода кластеризации

и т. д. Используемый метод кластеризации имеет большое значение, т. к. позволяет вести исследование в условиях сокращения гидрометеорологической сети.

Разграничение кластеров решает задачу районирования лишь частично. По мнению ряда исследователей (Куприянова, 1977; Трофимов, 1985), необходим второй этап исследований – увязка границ между выделенными кластерами, что требует дополнительных правил формализации. В результате первого этапа получается не единственное возможное положение границ, а его вероятностная приближенная оценка в математико-статистическом смысле (Родионов, 1968).

Естественно, чем больше используемая длительность наблюдений, тем с большей точностью мы можем установить вероятное положение границы. В итоге здесь возможны три ситуации:

- 1) граница в действительности существует, но не устанавливается статистически;
- 2) граница в действительности существует, но устанавливается с некоторым статистическим смещением;
- 3) граница в действительности не существует, а по выборочным данным устанавливается.

Первая и вторая ошибки возникают из-за того, что выборка недостаточно точно отражает генеральную совокупность. Эту погрешность устраняют сгущением сети точек (в нашем методе введением дополнительных матриц за другие периоды наблюдений). Причиной третьей ошибки может быть сам алгоритм, иногда излишне дробящий исходное множество вследствие дихотомического характера деления. Для исключения последней ошибки необходим еще один этап – устранение ложных границ. На данный момент для решения этой задачи применяются, как правило, две формализованные процедуры – Д.А. Родионова и В.А. Углова (1988), подробно описанные в работах Т.П. Куприяновой (1977) и А.М. Трофимова (1985) и др. Применение этих процедур для решения задачи устранения ложных границ обосновано недостаточно, поэтому они критикуются исследователями. В таком случае вряд ли имеет смысл проводить оценку резкости границ гидрологических районов с помощью каких-либо приемов, тем более что в работах многих исследователей (Кочукова, 1955; Быков, 1963; Бережных, 1984; Рассказова, 1992 и др.) выявлена их подвижность. Положение границ районов синхронных (асинхронных) колебаний в значительной мере зависит от преобладания в исследуемом периоде маловодной или многоводной фазы и масштабности атмосферных процессов. Поэтому, при установлении положения границ гидрологических районов в многолетнем разрезе необходимо, чтобы в используемом периоде наблюдений обязательно присутствовали и маловодная и многоводная фаза.

Важнейшим существенным моментом процесса районирования является оценка полученных вариантов членения территории и оценка достоверности результатов исследований. Любое районирование, производимое с помощью методов кластеризации, должно заканчиваться формальной и неформальной оценкой результатов. Критерием выбора оптимального результата в этом случае является примерное совпадение результатов формальной и неформальной оценки (Трофимов и др., 1985). Такой подход позволяет уменьшить субъективизм исследователя и более гибко учитывать конкретную цель в результатах районирования.

Неформальная оценка качества районирования состоит в том, что наилучший вариант обосновывается исследователем с содержательных позиций географии, путём его увязки и согласования с ранее полученными результатами районирования традиционными способами. Как считают А.Н. Трофимов и др. (1985), здесь огромную роль играют эрудиция и дар предвидения исследователя. Ясно, что такой подход допускает элемент субъективизма. Поэтому обязательно требуется количественная оценка качества кластеризации. Она носит название формальной оценки.

В качестве формальных критериев, позволяющих определить оптимальную классификацию, используются различные функции. Они являются в данном случае и критерием однородности, т. к. при достижении этим критерием определённой величины или максимума, наиболее сходные объекты объединяются в однородные группы (кластеры), а в разные попадают наиболее различающиеся. Автором в качестве формального критерия использовался критерий А.А. Дорофеев – В.Я. Лумельского (1973), рекомендованный для применения в МГУ (Евстигнеев и др., 1982). В этом критерии выбирается тот вариант разбиения на кластеры, при котором достигается максимум функции  $D_j = J_1 - J_2 / J_1 + J_2$ , являющейся численной мерой классификации.  $J_1 - J_2$  и  $J_1 + J_2$  представляют собой разность (сумму) средней (по всем классам) мерой близости ( $R$ ) между рядами внутри каждого класса  $J_1$  и средней мерой близости между классами –  $J_2$ . Формулы для расчета критериев качества кластеризации  $J_1$  и  $J_2$  приведены в работе А.А. Дорофеев – В.Я. Лумельского (1973). Значения  $D_j$  в ИС-технологии «Природа» подсчитываются для всех возможных вариантов разбиения исходного множества на однородные группы, (см. левую часть табл. 2.6), а оценка качества кластеризации в ИС-технологии «Природа» производится на каждом уровне корреляции. По ее максимуму и выбирается оптимальный вариант разбиения на кластеры, а, следовательно, и наиболее вероятное положение границ районов. Так, например, из табл. 2.6 видно, что максимальное значение критерия  $D_j$  наблюдается на уровнях 0,7 и 0,6. При

этом на уровне 0,6 объектов, объединяемых в кластеры больше. На нем происходит своеобразный «скачок» значения критерия, после чего опять следует его плавное уменьшение до последнего уровня  $R = 1$ , где значение критерия всегда равно единице, и на котором происходит объединение всех кластеров в один. Однако, как указывалось выше, получение формальной оценки не является достаточным для оценки качества районирования. Она не всегда может быть интерпретирована с содержательных позиций географии и даже с позиций заданной цели. Наилучшие результаты даёт подход совместного использования формальных и неформальных оценок вариантов членения территории.

В случае возникновения ситуации, когда ни один из вариантов не может считаться удовлетворительным, необходима замена метода районирования, т. к. эта ситуация будет свидетельствовать о его некорректности. В противном случае необходимо привести убедительные свидетельства обоснованности результатов районирования, полученных на основе кластерного анализа (к.а.). Это основной шаг при использовании к.а., т. к. различные методы кластеризации приводят к разным результатам для одних и тех же данных. Поэтому следует доказать их достоверность.

Для проверки обоснованности полученного кластерного решения использовался метод повторной выборки (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989). Этот метод позволяет оценить степень повторяемости кластерного решения в серии наборов данных. Методика повторных выборок фактически предназначена для проверки соответствия кластерного решения внутренней структуре генеральной совокупности. Если для различных выборок из одной и той же совокупности получается одинаковое кластерное решение, то делается вывод, что это решение присуще всей совокупности (там же, с. 194). В случае перекрывающихся кластеров (т. е. получении размытых границ между ними) вероятность попадания объектов (рек) в тот или иной кластер (район) за каждый исследуемый интервал времени определяется при помощи рангового критерия Спирмена.

Критерий Спирмена относится к непараметрическим методам. По мощности он уступает параметрическим методам. Его достоинство состоит в том, что он позволяет отобразить общий порядок взаимосвязи исследуемых рядов и имеет простую методику вычислений. Критерий Спирмена применяют даже при небольшом числе наблюдений, носящих эмпирический характер.

Для этого в обработку берутся два ряда: ряд, представляющий данный район и собственно ряд, принадлежность которого к данному району (кластеру) требуется проверить. Соответственно, если вероятность попадания объекта, расположенного в зоне перекрытия районов, за дан-

ный промежуток времени оказывается выше, например, для таёжной зоны, чем для лесостепной, то он считается принадлежащим к зоне рек тайги и т. д.

Суть рангового критерия Спирмена изложена в учебниках и пособиях по математической статистике (Гмурман, 1977; Христофоров, 1988). Она состоит в ранжировании рядов данных в порядке возрастания, и последующего определения коэффициента ранговой корреляции  $\rho$  и величины  $t$  – распределения (критические точки распределения Стьюдента). По значению  $t$  и числу степеней свободы  $(n - 2)$  с помощью специальных таблиц находится величина вероятности связи двух рядов –  $P$ , которая свидетельствует о надежности полученной связи. В гидрологии и метеорологии надежной считается связь при  $P \geq 95 \%$  (В.А. Румянцев, Ю.А. Трапезников, М.А. Хорбаладзе, 2000 и др.).

Таким образом, изложенный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

I. Для целей исследования автором был собран и структурирован значительный по объему материал сети мониторинга за природными объектами (реками), в виде рядов средних годовых расходов рек бассейна Тобола на 42 гидрологических постах. Из них 27 имеют площади водосбора, отражающие зональные особенности территории. Они представлены в базе данных ИС-технологии «Природа» ([http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623)).

II. Для работы с базой данных с целью исследования пространственно-временной структуры рядов была отработана наиболее корректная методика и оптимальный алгоритм исследований. Для этого были решены следующие задачи:

1) подробно изучены методы подготовки исходных данных и отобраны наиболее корректные;

2) изучены методические аспекты формирования информационной базы данных;

3) определены способы восстановления пропусков в рядах наблюдений, а также способы численной оценки точности исходных данных и влияния ее на конечные результаты;

4) выявлены наиболее корректные методы исследования временной и пространственно структуры гидрометеорологических полей, а также методы оценки достоверности полученных результатов.

III. В результате подготовки базы данных по бассейну р. Тобол было восстановлено более 100 значений пропусков в наблюдениях, после чего ряды испытаны на тренд и проверены на однородность.

IV. При испытании рядов на однородность установлено, что все ряды в базе данных за имеющиеся периоды наблюдений однородны.

V. Проверка надежности исходных данных показала, что в шести случаях ряды не удовлетворяют предъявляемым требованиям, но могут быть использованы при определенных условиях, изложенных в п. 2.1.6.

VI. Применение методики и алгоритма авторской версии кластерного анализа показало, что они являются универсальными и позволяют:

- 1) наиболее объективно выбирать уровень сходства для определения оптимального числа районов;
- 2) производить оценку достоверности полученных результатов;
- 3) совместно исследовать горные и равнинные территории.

Таким образом, совокупность отобранных методов представляет собой наиболее корректную методику исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока рек. Ее использование позволяет сравнивать результаты исследований с последующим распространением их на малоизученные и неизученные объекты в условиях сокращения гидрометеорологической сети. Сформированные автором методика и алгоритм реализованы в ИС-технологии «Природа». Описание алгоритма реализации методики в ИС-технологии «Природа» и сама ИС-технология «Природа» прилагается к данной монографии см.: [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623). При их использовании обязательна ссылка на автора.

## ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ВНУТРИВЕКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ГОДОВОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА р. ТОБОЛ

### 3.1. Ритмичность в природных явлениях и ее смысл

Выявление ритмов в природных явлениях и их причин представляет собой одну из весьма важных задач географической науки. Ритмика является основным показателем многолетних колебаний природных процессов во времени и пространстве. Ведущими ритмами, определяющими характер развития природных явлений, являются космические ритмы. Ритмы космоса разной продолжительности и различного происхождения пронизывают и регулируют все процессы развития Земли.

В научной литературе кроме термина ритмичность часто встречаются термины периодичность и цикличность. Под периодичностью подразумевают равновеликость временного интервала, а под цикличностью – нестрогую повторяемость во времени тех или иных процессов. Понятия ритмичности и цикличности часто выступают как синонимы, поэтому при описании временной структуры природных процессов используются оба термина. По мнению Е.В. Максимова (1977, с. 419) ритмичность включает одновременно и периодичность, и цикличность. Она никогда не бывает хронологически строга и никогда не приводит систему в точности в исходное положение. Последнее объясняется существованием сложной интерференции ритмов разной продолжительности и разной амплитуды.

В природе существуют две принципиально разные категории ритмов: ограниченный набор космических ритмов и неограниченное число производных ритмов взаимодействия или ритмов среды. Космические ритмы интерферируют между собой и порождают значительное число производных периодов колебаний (ритмы автоколебательного типа), малоустойчивых во временном и пространственном отношении. В отдельные промежутки времени на ограниченных территориях они могут проявляться так сильно, что «затушевывают» ход космических ритмов. В отличие от ритмов взаимодействия, проявляющихся в некоторых средах и на ограниченных территориях, ритмы космоса с удивительной устойчивостью проявляются во всех геокомпонентах и геосферах. По продолжительности различают ритмы вековые и внутривековые.

Среди вековых ритмов в природе наиболее часто встречаются ритмы продолжительностью 120, 300, 600, 1200–2000 лет (Е.А. Леонов,

В.Е. Леонов, 1990). Но не только природные явления подчинены закономерностям ритмики. Л.Н. Гумилев заметил, что ритмам подвержены также этносоциальные процессы на Земле. Е.В. Максимов (1995) установил, что пассионарные точки Л.Н. Гумилева, приводящие к исчезновению одних наций и возникновению других, связаны с одним из важнейших ритмов Земли длительностью – 1850 лет. Этот ритм впервые установлен А.В. Шнитниковым в 1977 г. Причиной ритма является приливообразующая сила Луны и Солнца. Время наступления горных ледников соответствует эпохам расцвета материальной культуры и роста населения. Конечно, ритмы такой длительности человек не может наблюдать на своем коротком веку. Однако существует целый ряд внутривековых ритмов, порождаемых космосом, действие которых мы ощущаем на протяжении своей жизни: 80–90, 30–35, 21–22, 15, 11–13, 5–8, 2–4 года. Эти ритмы называют внутривековыми. Им и посвящены исследования автора.

Наиболее доказательны взаимосвязи земных и космических явлений на примере ритмов физико-географических процессов, фиксируемых инструментальными наблюдениями в различных сферах Земли, в частности в атмосфере и гидросфере (температура воздуха, атмосферное давление, осадки, *расходы* и уровни *воды в реках* и т. д.).

Циклические колебания стока рек являются сложным детерминированным процессом, обусловленным совокупным влиянием периодических и циклических воздействий геофизических сил глобального и космического происхождения на атмосферу, ионосферу, гидросферу и литосферу Земли. В настоящее время существуют три точки зрения на их происхождение.

Сторонниками теории четко выраженного характера цикличности в колебаниях стока рек и использования его для прогнозирования считаются: И.П. Дружинин, З.П. Коноваленко (1967), С.Г. Агарков (1973), Н.П. Смирнов (1974), О.Ф. Кондрацова (1974) и другие. Наблюдаемые в природе циклические колебания стока они объясняют инерцией и циклическостью в колебаниях геофизических и гелиофизических процессов. Некоторые исследователи (О.А. Дроздов и А.С. Григорьева, 1990; А.П. Лепихин, 1980, 1981 и др.) связывают их с автоколебательными процессами системы атмосфера – гидросфера.

Другая точка зрения (Е.Е. Слуцкий, 1960; Н.А. Картвелишвили, 1975; Г.Г. Сванидзе, 1977; J. Williams, 1978; Е.Г. Апасова, 1984 и др.) состоит в том, что колебания стока – случайный процесс, являющийся следствием суммирования нескольких случайных. В гидрологии этот вывод может быть распространен на сток крупных рек, формирующийся в результате слияния нескольких притоков, различающихся условиями его образования.

Согласно третьей точки зрения в колебаниях стока, кроме четко выраженной цикличности, имеется тенденция к образованию группировок мало-водных и многоводных лет (С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель, Г.П. Калинин, В.Д. Быков, 1967 и др.). В настоящее время она получила распространение и применение в водохозяйственном проектировании. Необходимо отметить, что в процессе исследований, с получением новых результатов сторонники той или иной теории меняют свое мнение, что вполне закономерно.

Принимая во внимание все точки зрения, можно сделать вывод о том, что подавляющее большинство исследователей сегодня не сомневаются в том, что ритмичность является неотъемлемой закономерностью географической оболочки Земли (Г.О.), а причиной, вызывающей ритмические колебания в Г.О. являются ритмы космоса. Космические ритмы порождают в Г.О. Земли колебания себе подобные, а производные ритмы, являющиеся следствием их интерференции – случайные колебания.

Ритмические колебания обнаружены в солнечной активности, магнитном поле Земли, атмосферных осадках, температуре воздуха и воды, приливных явлениях и многих других природных процессах. Они обусловлены тремя группами факторов: астрономическими, геофизическими и циркуляционными. Механизм воздействия глобальных факторов земного и внеземного происхождения на природные объекты очень сложен и до конца не разработан. Большое внимание этому вопросу уделено в работах И.В. Максимова и его сторонников (И.В. Максимов, Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов, 1970) и Е.В. Максимова (1972, 1977, 1995а, 1995б). Согласно их исследованиям приливные силы Луны и Солнца действуют на водную поверхность Мирового океана, заставляя при этом ритмически пульсировать океанические течения. Пульсация последних вызывает изменения в общем переносе влаги и тепла на Земле. В результате возникают сложные ритмические колебания климата и вод суши на Земле. Изменение же солнечной активности в свою очередь связано с гравитационным влиянием планет Солнечной системы. Ритмы, возникающие в слоях географической оболочки Земли, интерферируют, порождая большое число производных ритмов. В настоящее время воздействие солнечной активности на барическое поле Земли и циркуляцию атмосферы рассматривается в планетарном масштабе, а все остальные изменения гидрометеорологических процессов, связь с проявлениями солнечной активности считаются вторичными, осуществляющимися через перестройку атмосферной циркуляции.

Практическое значение анализа циклов заключается не только в оценке осуществившихся колебаний, но и в возможности предвидения будущих. Для решения этой задачи необходима уверенность в устойчивости выявленных колебаний. К сожалению, недостаточная длительность наблюдений за речным стоком пока еще ограничивает методиче-

ские возможности анализа периодических составляющих. В этом плане особую ценность имеет сравнение циклов, выявленных по разным, иногда перекрывающимся, интервалам наблюдений.

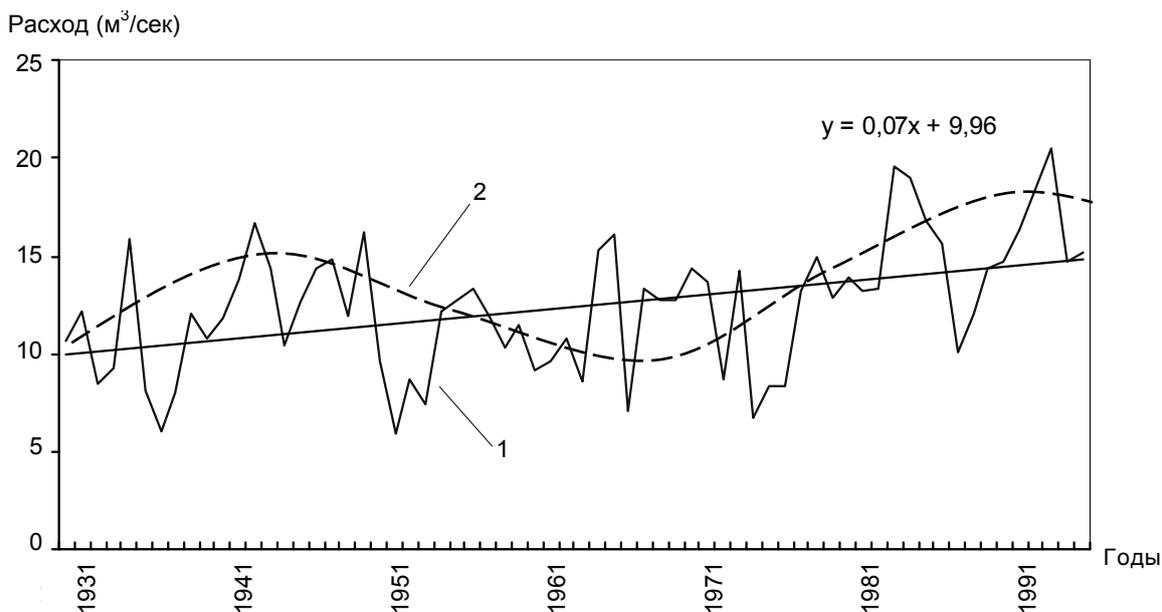
Исследования ритмичности стока, проведённые в масштабах отдельных стран, континентов и Северного полушария на основе наиболее длительных рядов наблюдений, дают только общее представление о ней. Даже внутри сравнительно небольших районов существуют различия в характере вековых и внутривековых колебаний климата и стока. Цикличность неодинаково проявляется в отдельные периоды на той или иной фазе развития вызывающих её факторов. Средняя длительность ритмов изменяется во времени и пространстве. В связи с этим очень важным является рассмотрение особенностей этих колебаний в отдельных бассейнах рек, в конкретные отрезки времени, характеризующиеся определёнными климатическими условиями.

Природные процессы, в том числе и гидрологические, являются многофакторными и многоциклическими, поэтому в изучении многолетних колебаний стока наибольший интерес представляют закономерные циклические изменения по их продолжительности и территориальному распределению. Особенно важным представляется исследование распределения по территории фаз циклических колебаний, т. е. группировок лет повышенной или пониженной водности.

С математической точки зрения любой временной ряд можно представить в виде суммы трех составляющих: случайной, циклической (гармоники) и линейной (тренд). Случайную составляющую учесть практически невозможно. Гармоника представляет собой волновой колебательный процесс, описываемый синусоидой – строгой математической функцией. Полный цикл колебания стока реки состоит из двух маловодных и двух многоводных фаз и составляет  $360^\circ$ . Фазовые углы от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и от  $270^\circ$  до  $360^\circ$  соответствуют подъёму водности реки, а фазовые углы от  $90^\circ$  до  $270^\circ$  – её спаду (рис. 3.1). Описание колебательного процесса при помощи одной (ведущей) гармоники даёт весьма приближительную модель.

Количество гармоник во временном ряду равно половине числа лет ряда наблюдений. Теоретически их суммированием можно приблизительно смоделировать исходный ряд. Но практически это сделать довольно сложно, поэтому временной ряд чаще всего представляют в виде суммы нескольких ведущих (основных) колебаний.

Выявление трендовой составляющей представляет весьма важную и сложную задачу. Она достаточно подробно рассмотрена во многих источниках (Ю.А. Архипов, Н.И. Блажко, 1976; К.Я. Винников, 1986; Е.А. Леонов, В.Е. Леонов, 1987; Дж. Бендат, А. Пирсол, 1989; Христофоров, 1993, Худсон, 1980 и др. Ей посвящен следующий раздел работы.



1 – период исследования 66 лет;  
2 – функция ведущей гармоники ( $P = 22$  года);

Рис. 3.1. Многолетние колебания среднегодового стока ( $\text{м}^3/\text{сек}$ )  
р. Реж (п. Ключи)

Рассмотрим процесс моделирования годового стока на примере ряда средних годовых расходов р. Реж (п. Ключи). С математической точки зрения приближенную модель данного ряда можно получить суммированием всех гармоник (в данном случае 33) плюс значение тренда в каждой конкретной точке, полученное по его уравнению (см. рис. 3.1 и п. 3.2). В первом приближении исходный ряд описывается одной гармоникой (рис. 3.1, ряд 1). В этом случае функция будет иметь вид синусоиды. Период колебания синусоиды равен частному от деления длины исходного ряда на ее порядковый номер (в конкретном случае –  $P = 66/3 = 22$  года). Чем больше значимость гармоники, определяемая оценкой дисперсии ( $D$ ) и амплитудой колебаний ( $A$ ), тем лучше она описывает основную тенденцию колебаний стока.

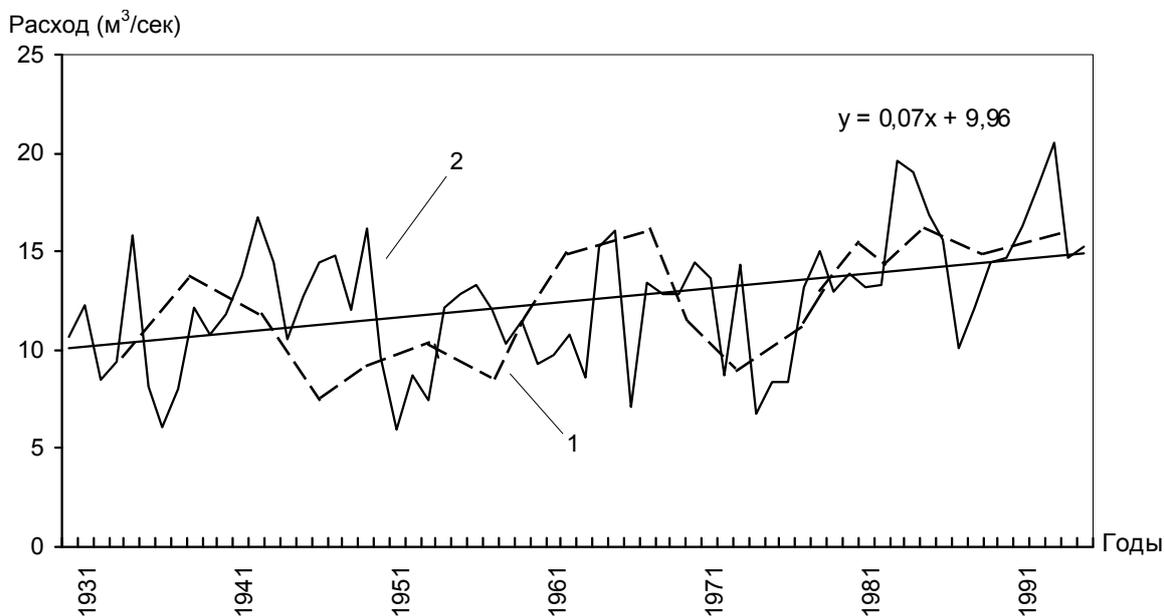
Второе приближение достигается суммированием двух ведущих ритмов (Апполов, 1951; Шнитников А.В. и др., 1997), представленных на рис. 3.2. Из рисунка видно, что ряд 2 более приближен к исходному, чем ряд, описываемый одной гармоникой (синусоидой) и т. д.

Следует подчеркнуть, что природные процессы только напоминают синусоидальные колебания, но они не тождественны им. В связи с этим необходимо указать на ограниченные возможности их математизации. Сложности процесса моделирования речного стока состоят в следующем:

- 1) случайную составляющую учесть практически невозможно;

2) суммирование всего числа гармоник представляет весьма сложную задачу;

3) тренд, полученный при малом количестве данных, при увеличении их числа, может оказаться частью продолжительного цикла (Е.А. Леонов, В.Е. Леонов, 1987, 1990 и др.; см. п. 3.2).



1 – период исследования 22 года;

2 – функция суммы двух ведущих гармоник ( $P = 13$  лет);

Рис. 3.2. Многолетние колебания среднегодового стока (м<sup>3</sup>/сек) р. Реж (п. Ключи)

Поэтому прогнозирование стока на перспективу путем математического моделирования рядов не нашло широкого применения в практике гидрологических прогнозов. Тем не менее, моделирование рядов на основе ведущих циклических составляющих и тренда является пока единственной возможностью для прогнозирования (Дружинин, 1987). Следующей задачей, после изучения многолетней ритмики стока рек, является испытание рядов на тренд и рекомендована ВМО (Climatic Change...1966).

### 3.2. Оценка тренда временных рядов средних годовых расходов рек бассейна р. Тобол

При проектировании долговременных гидротехнических сооружений необходимо учитывать вероятность наступления трендов в вековых и внутривековых циклах. Особенно актуальна эта задача для Уральского региона, где в последние десятилетия антропогенная нагрузка на гидрологические объекты возрастает в связи с недостаточностью вод-

ных ресурсов. Влиянию хозяйственной деятельности на многолетний режим рек Урала и Приуралья посвящены работы И.А. Шикломанова, 1979, 1986; А.М. Черняева, И.С. Шахова, 1977; А.П. Носаль 1995; С.А. Федотова, 2000; Н.С. Рассказовой, 1992, 2003 и др.

А.П. Носаль (1995) на примере рек юга лесостепной зоны показано, что антропогенное воздействие на водосбор способно усиливать или снижать влияние отдельных климатических факторов на параметры речного стока без существенных изменений его абсолютных величин. Основными причинами таких изменений могут служить, например гидромелиоративные мероприятия, способствующие переводу части поверхностного стока в подземный, а также увеличение степени зарегулированности стока.

Н.С. Рассказовой (1992, 2003) выполнено испытание на тренд рядов средних годовых расходов рек Зауралья. Для этих целей использовались два метода: метод фильтрации с фильтром «простое скользящее осреднение» и непараметрический метод «критерий серий». При этом проверялось принципиальное наличие трендов (определялись границы области принятия гипотезы о наличии трендов) без расчета его уравнений. В результате исследований установлено наличие различных по знаку длительных тенденций в многолетнем ходе стока рек в разных природных зонах. Для рек лесной и лесостепной зон выявлено наличие слабовосходящего тренда. Для рек горной области Зауралья восходящий тренд оказался выраженным более отчетливо. В стоке рек степной зоны был обнаружен слабый нисходящий тренд. Для рек, расположенных вблизи границ различных природных зон присутствие тренда не обнаружено. Впоследствии автором было установлено, что такие реки принадлежат к «переходным зонам» и высказана предположительная причина отсутствия однонаправленных тенденций – значительная вариация увлажнения в этих зонах по эпохам атмосферной циркуляции.

Целью исследований, описываемых в данном параграфе, является установление наличия тренда в рядах средних годовых расходов рек (с последующим расчетом уравнений тренда) и степени его влияния на формирование временной структуры рядов.

Теоретически, если тренд в многолетних колебаниях стока рек является следствием климатического, то его можно использовать для прогнозных целей. Однако исследования, проведенные в ГГИ (Статистические исследования..., 2000) показали, что прогнозирование стока на перспективу путем экстраполяции трендовой и циклической составляющих весьма проблематичны и чаще всего не оправдываются. Знак и значение коэффициента в уравнении тренда (п. 2.1.4, формула 2.1), полученные при определении тренда за весь имеющийся период наблюдений могут принципиально отличаться от значений, полученных при «кусочной» аппроксимации ряда трендовой составляющей. Автором

проведены аналогичные исследования. На рис. 3.3 и 3.4 приведены хронологические графики средних годовых расходов ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ) р. Ница (г. Ирбит) с однонаправленной составляющей, рассчитанной за весь период наблюдений и «кусочная» аппроксимация ряда.

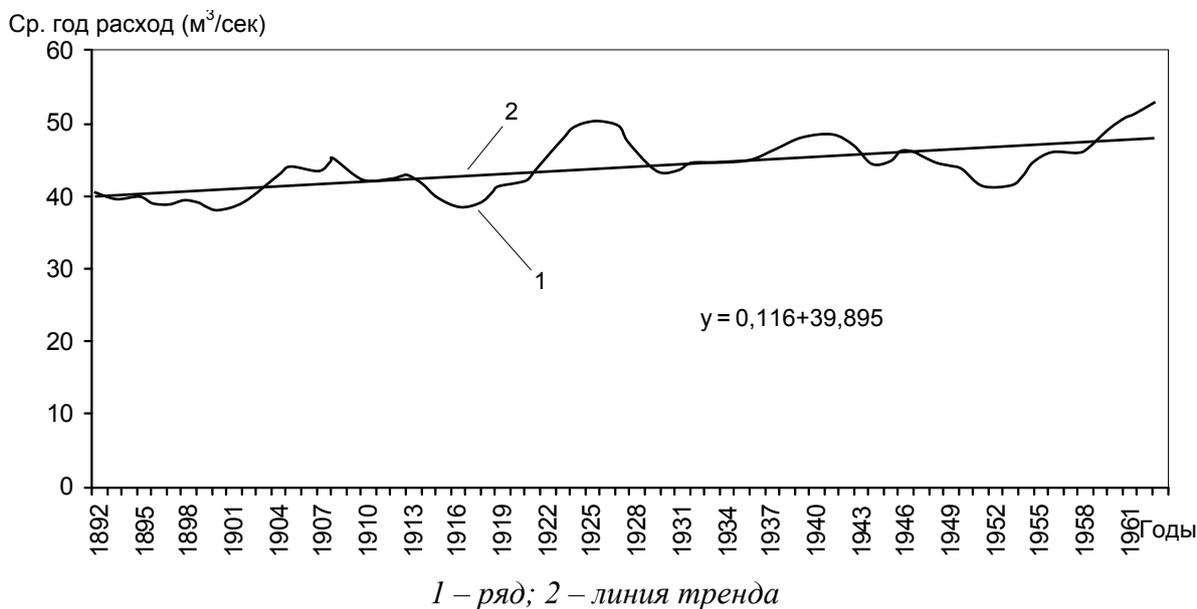
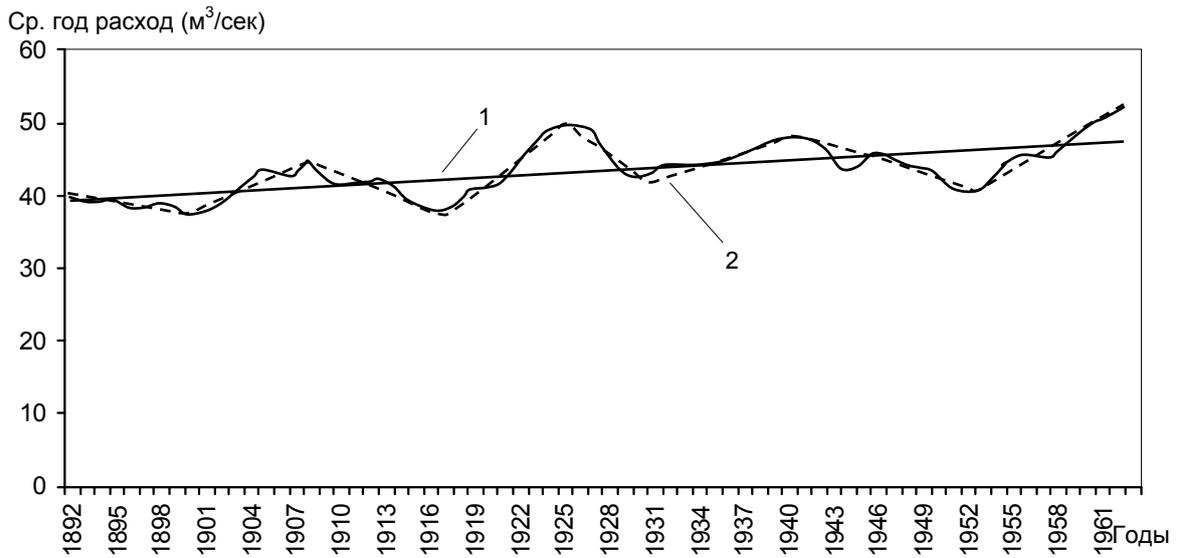


Рис. 3.3. Хронологический график многолетних колебаний стока р. Ница – г. Ирбит и его тренд. Период осреднения 25 лет

Из рисунков видно, что их направленность часто не совпадает. Причем при «кусочной» аппроксимации значение коэффициента в уравнении тренда зависит от интервала экстраполяции данных. Согласно рекомендациям специалистов-гидрологов ГГИ А.В. Рождественского, В.Ю. Георгиевского и др. (1998, 2000), при изучении пространственно-временной структуры полей стока рек следует, по-возможности, использовать ряды, не нарушенные антропогенными функциями.

Поэтому целью испытания рядов на тренд в данном случае является принципиальное установление наличия тренда в рядах средних годовых расходов рек и выявление степени влияния наличия тренда на формирование временной структуры рядов. Согласно методике, изложенной во второй главе, с помощью авторской ИС-технологии «Природа» в бассейне р. Тобол проведено испытание на тренд (испытывалась вся база данных рядов средних годовых расходов).

Наличие трендовой составляющей в бассейне Тобола (в пределах российской территории) выявлено в 3 рядах. Результаты испытаний помещены в табл. 3.1 (фрагмент). В таблице приняты следующие обозначения:  $P$  – статистика,  $y$  – нормированная величина статистики,  $G_{\delta}$  – ошибка коэффициента регрессии (см. п. 2.1.4).



1 – линия тренда; 2 – тренд по десятилетиям

Рис. 3.4. Хронологический график многолетних колебаний стока р. Ница – г. Ирбит

Таблица 3.1

Испытание временных рядов средних годовых расходов на тренд (фрагмент)

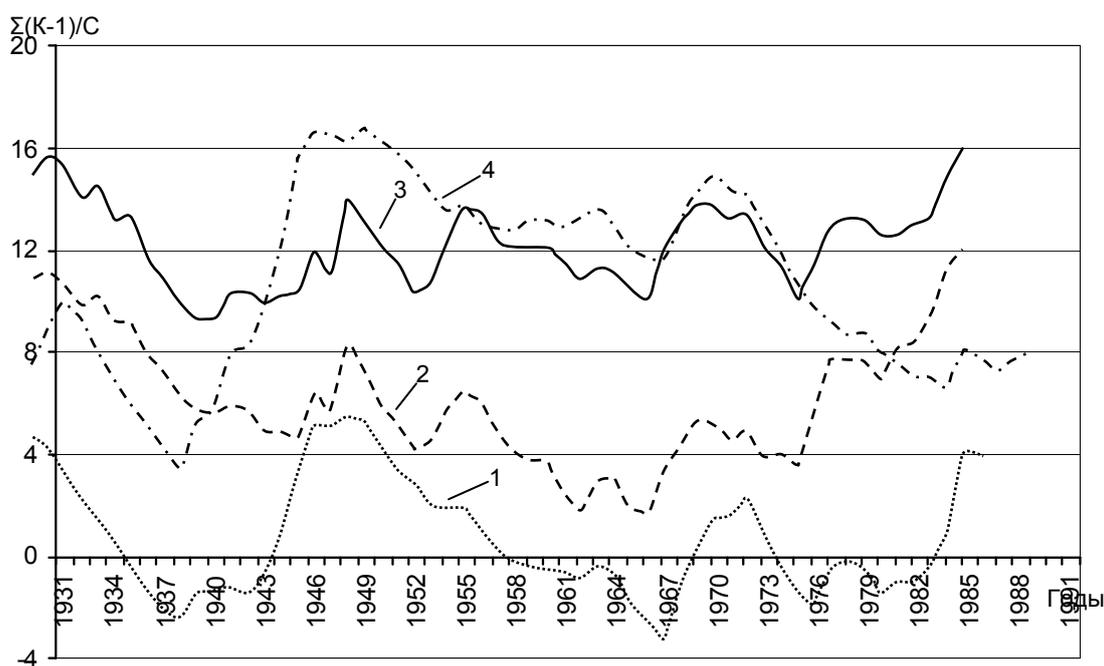
№ ряда в БД	Наименование ряда	P	y	уравнение тренда			G <sub>e</sub>
				$Q = Q_{cp} - B (T - T_{cp})$			
1	2	3	4	$Q_{cp}$ (м³/сек)	b	t <sub>cp</sub> (ГОД)	8
Бассейн р. Тобол							
142	Сосьва – Новая Пристань	0,24	2,67	74,63	0,95	1958	0,27
148	Сосьва – Денежкино	0,18	2,03	37,86	0,18	1959	0,09
175	Вагран – Североуральск	0,31	3,43	14,35	0,22	1959	0,05

Однонаправленные составляющие в многолетних колебаниях стока рек могут быть по своему генезису климатическими и антропогенными. В первом случае извлечение тренда не производится.

В бассейне Тобола для некоторых постов произведено снятие трендовой составляющей, т. к. изучение архивных материалов Гидрометеофонда показало значительное антропогенное воздействие на указанных створах (Рассказова, 1992, 2003). Ошибка коэффициента регрессии на 27 исследуемых створах не превышает 10 %.

Известно, что для больших и средних рек равнинных районов, сток которых формируется преимущественно в достаточно увлажненной лесной зоне, антропогенные факторы не оказывают существенного вли-

яния на водный режим (Шикломанов, 1979, 1986). Также как и воздействие карста, влияние антропогенных факторов заметно сказывается только на режим малых рек при площадях водосбора менее 1000 кв. км. (Балков, 1970, 1978). Безвозвратные потери стока на хозяйственные нужды имеют также место на юге лесостепной и в степной зоне при наличии бессточных пространств, которые приводят к значительной вариации стока по территории. На нормированных разностных интегральных кривых хорошо виден естественный ход стока с фазами подъема и спада (образец приведен на рис. 3.5).



1 – Пышма-Богандинское; 2 – Миасс-Каргополье;  
3 – Ивдель-Ивдель; 4 – Сосьва-Денежкино

Рис. 3.5. Нормированные разностные интегральные кривые стока рек бассейна р. Тобол

При использовании таких рядов для исследования пространственно-временной изменчивости трендовую составляющую необходимо устранять. Результаты исследований показали, что набор ритмических составляющих временных рядов и их параметры до снятия тренда и после него различаются. Как уже указывалось ранее, климатический (естественный) тренд может служить основой для прогнозирования стока рек на перспективу, что предусмотрено в ИС-технологии «Природа», реализованной в *MS Excel*, где функция прогнозирования по тренду является стандартной. Но при этом очень важно не забывать, что оценка предстоящих изменений климата посредством их формальной экстраполя-

ции – процедура диагностическая. Поэтому результаты оценивания трендов нужно использовать для прогноза с осторожностью, учитывая при этом ведущие гармонические составляющие.

Для выявления районов с положительными, отрицательными и переменными трендами автором было проанализировано более 100 графиков многолетних колебаний стока рек Зауралья и более 300 графиков скользящего осреднения средних годовых расходов с различными периодами осреднения – 5, 15, 25, 40 лет. В результате анализа графиков установлено, что подавляющее большинство рек Тобольского бассейна имеют положительные тренды. Отрицательные и переменные тренды характерны для рек горно-таежной зоны, а также для рек, расположенных в «переходных зонах», что подтверждает ранее полученные результаты (Рассказова, 1992, 2003). В табл. 3.2 отражены результаты анализа графиков. Ряды с положительными трендами, которые составляют подавляющее большинство, в таблице не приводились.

Таблица 3.2

*Знаки трендов в рядах средних годовых расходов рек бассейна р. Тобол*

Бассейн р. Тобол	
отрицательные тренды (река-пост)	тренды с переменным знаком (река-пост)
Тобол – Гришенка (Каз.)	Караталы-Аят – Карталы
Тобол – Кустанай (Каз.)	Уй – Степное
Ермутла – Ермутла	Тогузак – Тогузак
Исеть – Каменск-Уральский	Лобва – Лобва
Теча – Муслимово	Миасс – Сосновское
Теча – Першинское	Тура – Верхотурье
	Ляля – Среднесалтановка

Знаки трендов наносились на карту и анализировались ареалы их распространения (рис. 3.6).

В результате анализа установлено, что в бассейне р. Тобол ареалы переменного знака тренда хорошо совпадают с ранее выделенными автором «переходными зонами» (Рассказова, 1992).

Для подтверждения предположений необходимы исследования по эпохам атмосферной циркуляции Вангенгейма. В «переходных зонах» установлено варьирование многолетних колебаний стока рек по эпохам атмосферной циркуляции. Причиной вариаций многолетних колебаний стока, согласно исследованиям автора, является вариация увлажнения по эпохам атмосферной циркуляции.



Устойчивые отрицательные тренды наблюдаются в верховьях Тобола, ее правобережных притоках и бассейне р. Исети. В остальных случаях тренд устойчивый положительный. Наличие отрицательного тренда связано интенсивным антропогенным воздействием в бассейнах рек Исети, Миасса, а в верховьях Тобола – с наличием бессточных пространств, приводящих к значительной вариации стока по территории.

Таким образом, в результате испытания рядов на тренд установлено наличие различных по знаку длительных тенденций в многолетнем ходе стока рек разных природных зон:

1) для рек лесной и лесостепной зон выявлено наличие слабовосходящего тренда, причем для рек горно-таежной зоны Зауралья восходящий тренд выражен наиболее отчетливо;

2) в стоке рек степной зоны Зауралья обнаружен слабый нисходящий тренд;

3) для рек, расположенных вблизи границ различных природных зон присутствие тренда не обнаружено.

Ранее автором было выявлено, что реки, расположенные вблизи границ зон принадлежат к «переходным» и, как указывалось выше, ареалы переменного знака тренда хорошо совпадают с ранее выделенными автором «переходными зонами» (Рассказова, 1992, 2003). Предположительной причиной отсутствия однонаправленных тенденций в многолетних колебаниях стока рек «переходных зон» является значительная вариация увлажнения по эпохам атмосферной циркуляции.

Таким образом, испытания рядов на тренд подтвердили выводы, полученные автором ранее, (Рассказова, 1992) и показали возможность использования рядов средних годовых расходов, имеющихся в базе данных ИС-технологии «Природа», для исследования их пространственно-временной структуры.

### **3.3. Исследование временной структуры многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол**

Выявление временной структуры многолетних колебаний стока рек является важной составной частью проблемы водных ресурсов.

Исследования автора, изложенные в данной главе, посвящены выявлению ведущих ритмов в многолетних колебаниях стока рек Тобольского бассейна, а также установлению их связи с космо- и геофизическими факторами.

Поскольку речной сток является интегральным показателем климата, поэтому ритмы, выявленные в его многолетних колебаниях, будут отражать колебания климатических характеристик исследуемой террито-

рии. По ведущему ритму территории в городском и земельном кадастрах производится выбор периода для составления серий карт при кадастровой и экономической оценке земель, т. к. в настоящее время земледельцы испытывают серьезные трудности в этом вопросе. Им необходимы крупномасштабные карты, по которым можно учесть пестроту почвенного покрова, кислотность или засоленность почв, географическое положение, а значит определить степень подверженности неблагоприятным агро- и метеорологическим условиям. К сожалению, в земельном и городском кадастре последний фактор часто игнорируется, что приводит к неполной кадастровой и экономической оценке земель. Следствием этого является неправильное определение земельного налога.

Агро- и гидрометеорологические явления нестабильны в пространстве и во времени, т. е. им присуща ритмичность. Ряд исследователей считает, что в связи с нестабильностью природных явлений целесообразно для кадастровой оценки земель иметь в наличии серии карт за период, соответствующий малому циклу солнечной активности (в среднем он составляет приблизительно 11 лет). Этот вывод основывается на знаниях и практическом опыте, подтверждающем влияние солнечной активности на географическую оболочку Земли, в том числе и на ноосферу. Работы ученых в области ритмики показали присутствие солнечного ритма во всех сферах географической оболочки, в том числе и в гидросфере (Коноваленко, 1966; Давыдова, Калинин, 1967; Дружинин и др., 1967, 1970; Саруханян, Смирнов, 1971; Агарков, 1973; Андреева, 1973; Картвелишвили, 1975; Апасова, 1976; Глазачева, 1977; Ушаков, 1989; Рассказова, 1992; Шнитников, 1997 и др.).

Школой И.П. Дружинина (Дружинин, Коноваленко, Хамьянова, 1967, 1969; Агарков и др., 1973 и др.) доказано наличие трансформации 11-летнего солнечного цикла в результате взаимодействия с земной поверхностью. При этом продолжительность его в пространстве и времени варьирует от 9 до 17 лет (Предтеченский, 1948 и др.). В частности установлено, что на территории Зауралья трансформация 11-летней солнечной составляющей в многолетних колебаниях стока рек проявляется в изменении длительности ритма при продвижении с севера на юг и составляет от 10 до 14 лет (Рассказова, 1992). Кроме того, исследованиями доказано, что 11-летний ритм в многолетних колебаниях природных объектов и явлений *не всегда является ведущим*. Так, например, в природных явлениях Зауралья ведущим является 17–19-летний ритм, равный периоду оборота линии узлов лунной орбиты (Гуляева, 1989; Рассказова, 1992). Реальность его существования в природе подтверждена многими российскими и зарубежными учеными (Саруханян, 1971; Смирнов, 1974 и др.). По мнению некоторых авторов причиной этого ритма является интерференция 11-летнего

солнечнообусловленного ритма и 7–8-летнего ритма «полюсного прилива» в океане, возникающего вследствие свободных колебаний оси вращения Земли. 17–19-летняя ритмичность обнаружена в повторении атмосферных засух, в колебаниях стока, уровней рек, озер, подземных вод и др.

Перечисленные выше факторы являются немаловажными при кадастровой оценке территории. Для кадастровой оценки городских и особенно сельскохозяйственных земель необходимо иметь карты, позволяющие оценивать агроклиматические ресурсы территории, причем обязательно на период, являющийся для нее ведущим. Только при таком подходе возможно преодоление серьезных трудностей при кадастровой оценке земель, т. к. в последнее время наметилась тенденция к переоценке ИС и ГИС и недооценке роли содержательного географического обоснования принимаемых решений (Берлянт, 1998; Рыжиков, 1996).

Результаты исследования многолетних колебаний стока рек могут быть также использованы и для других целей:

- 1) при разработке прогноза стока различной заблаговременности, в т. ч. прогноза проектной нормы стока рек;
- 2) при проведении расчетов многолетнего регулирования стока рек и выборе оптимальных параметров гидроузлов при проектировании гидротехнических сооружений.

При учете цикличности можно добиться также снижения многолетней емкости водохранилищ, а с ним и снижения капиталовложений в сооружения.

Исследования многолетних колебаний стока рек в бассейне Тобола ведутся не впервые. Однако исследователи использовали при этом разные по продолжительности ряды наблюдений за средними годовыми расходами и различный математический аппарат. Кроме того, исследования не всегда заканчивались оценкой достоверности результатов. Применение современной ИС-технологии дает возможность по-новому подойти к решению этой задачи.

Для выявления ведущих ритмов в многолетних колебаниях стока рек использовались три метода:

- 1) гармонический анализ (для оценки фаз и амплитуд ритмических составляющих);
- 2) разностных интегральных кривых (визуальный метод);
- 3) фильтрация (фильтр «простое скользящее осреднение»).

Основным методом исследования являлся гармонический анализ или Фурье-анализ. Как указывалось ранее (п. 2.2) Фурье-анализ, обладая рядом достоинств (позволяет рассчитывать амплитуды и фазы колебаний) имеет недостатки: длительности выявленных ритмов зависят от длины реализации и наблюдаются «белые шумы» – ритмы, равные длине ряда. Поэтому, наряду

с этим строгим математическим методом необходимо применение других, позволяющих подтверждать или уточнять выявленные ритмы. Для этой цели применялись метод фильтрации с фильтром «простое скользящее осреднение» и метод разностных интегральных кривых. Подробное описание используемых методов можно найти в многочисленных литературных источниках (Глазачева, 1977; Самнер, 1981; Смирнов, Скляренко, 1986; Христофоров, 1988 и многие др.), а также во второй главе настоящей работы. Алгоритм реализации этих методов в ИС-технологии «Природа» приведен на [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623).

Метод фильтрации позволяет путем подбора интервала скользящего осреднения отфильтровывать натуральные ритмы и отсеивать производные ритмы, получающиеся в результате их интерференции.

Разностные интегральные кривые, в отличие от двух предыдущих методов являются визуальным методом исследования. Для их построения реки, сходные по гидрологическому режиму, объединялись в группы с использованием схемы гидрологического районирования (Ресурсы..., 1973), представленной на рис. 3.7.

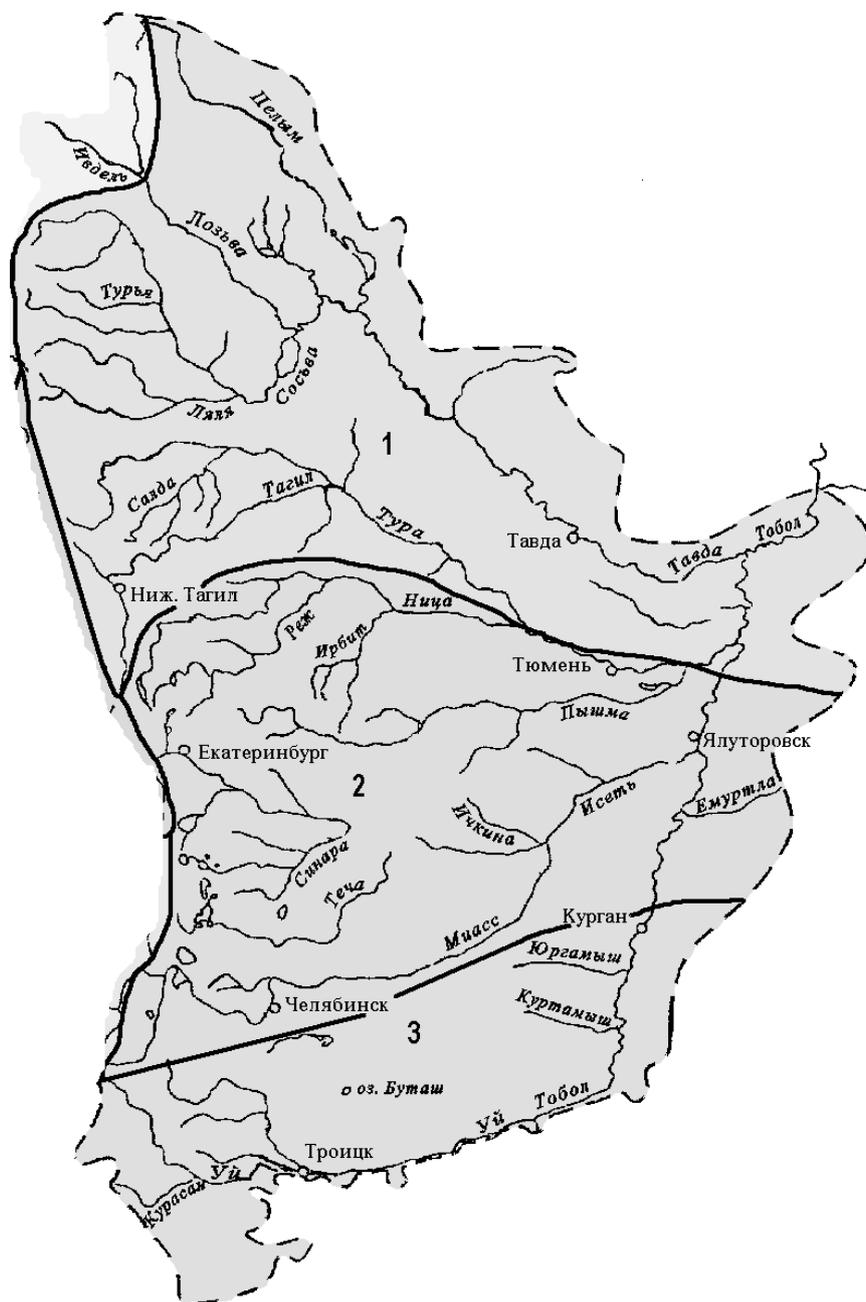
При исследовании временной структуры рядов средних годовых расходов использовалась *максимальная длина реализации* по каждому временному ряду, имеющаяся в базе данных ИС-технологии «Природа» (от 33 до 108 лет). Для выявления закономерностей распределения фаз колебаний по территории бассейна, с целью установления районов с асинхронными колебаниями стока, исследования проводились в пределах *единого, максимального по продолжительности* интервала наблюдений (с 1931 по 1987 гг.).

В случае недостатка или пропусков в рядах наблюдений ряды приводились к единому (1931–1987 гг.) периоду, с учетом не более 20 % восстановленных данных.

Теория фазовых сдвигов используется также для прогнозирования стока на перспективу. Допустим, на определенном створе какой-либо реки, в конкретное время наблюдался максимум или минимум значения расходов воды. В этом случае на другой реке (или другом створе реки), имеющей сходные условия формирования стока, через промежуток времени равный фазовому сдвигу (разность фазовых углов на один и тот же начальный момент времени) также должен наблюдаться его максимум или минимум.

Прогнозирование стока на перспективу на сегодня является достаточно сложной задачей. Эти сложности связаны с попытками прогноза годового стока на основе представления его гармоническим рядом. Дополнительные трудности прогнозирования возникают в условиях нарушения стока под влиянием хозяйственной деятельности. Устранение же антропогенного и естественного тренда из рядов наблюдений за стоком

не всегда может быть проведено корректно, а назначение числа гармоник по физическим соображениям вряд ли гарантирует соответствие их истинному числу (Е.А. Леонов, В.Е. Леонов, 1990, с. 48, 49).



Условные обозначения:

■ – Районы с синхронными колебаниями стока

Рис. 3.7. Картограмма районирования территории бассейна р. Тобол с синхронными колебаниями годового стока (Ресурсы поверхностных вод, 1973 г.)

По мнению М.В. Келдыша «Прогресс в области долгосрочных прогнозов, видимо следует ожидать с созданием... космической теории погоды». Некоторые ученые считают, что «...вследствие короткой памяти климатической системы вообще нет принципиальной возможности составлять прогнозы гидрометеорологических характеристик на длительные сроки» (Е.А. Леонов, В.Е. Леонов, 1990, с. 47). Принимая во внимание вышеизложенные мнения различных ученых можно сказать, что даже сегодня, при современном уровне знаний и возможности информационной обеспеченности при помощи GPS-технологий, вряд ли возможно построить априорную модель, адекватную процессу многолетних колебаний водности рек. Поэтому прогнозирование стока на перспективу, а также прогнозирование состояния нижнего слоя тропосферы является весьма сложной задачей. Как указывалось выше, конечным результатом проводимых исследований является выбор периода для составления серий карт с целью кадастровой и экономической оценки земель, что важно для проведения правильной налоговой политики. Однако знание ведущих ритмов дает возможность предполагать повторяемость теплых и холодных сезонов года.

Для выявления ведущих ритмов необходимо наличие длительных рядов наблюдений. Продолжительность рядов средних годовых расходов рек в бассейне Тобола зачастую недостаточна для выявления внутривековых ритмов длительностью более 22 лет ( $22 \cdot 3 = 66$  лет), а наличие в них трендов ограничивает методические возможности анализа периодических составляющих. Для «средних» по площади водосбора рек мониторинг рядов наблюдений колеблется от 33 лет ( $3 \cdot 11$  лет) (р. Сим – с. Серпиевка) до 100 лет и более (Тура – с. Верхотурье, Ница – г. Ирбит и др.). Поэтому в исследованиях особую ценность имеет сравнение циклов выявленных по разным, даже перекрывающимся интервалам наблюдений. Таким образом, максимальная продолжительность внутривекового ритма, которая достоверно может быть выявлена по имеющимся длинам реализаций, составляет примерно 35 лет (Рассказова, 2002). Для других рядов (кроме трех перечисленных) и для ритмов продолжительностью более 35 лет справедливо предположение о возможности их существования (наличия) в исследуемом ряду.

В результате Фурье-анализа выявлены внутривековые ритмы, наиболее распространенные на территории Тобольского бассейна. Исследования временной структуры рядов средних годовых расходов рек, имеющих одинаковую длину реализации – с 1931 по 1987 гг. и за различные периоды показали, что ведущими гармониками (ритмами) в стоке рек этих бассейнов в порядке убывания их продолжительности являются: 17–19, 11–14, 5–8, 2–4-летние ритмы.

Результаты исследований (ведущие ритмы) представлены в табл. 3.3 и 3.4. Длительность ритмов чаще всего получается дробной, то есть «распол-

зается» между двумя смежными гармониками. Этот факт свидетельствует в пользу непостоянства периодов. Получение целых значений продолжительности периодов в Фурье-анализе связано с длиной исследуемой реализации и не всегда означает наличие в ряду ритма именно целой продолжительности. Гармоники в таблицах округлены до целых значений, и лишь в случаях присутствия ритмов с приблизительно одинаковой продолжительностью их значения оставались в дробном виде с точностью до десятых долей года.

Длительности ритмов (в годах) помещены числители, а вклад каждого ритма (в %) в общую дисперсию признака (от  $D_{общ} = 100\%$ ) указан в знаменателе. Количество гармоник выбрано с таким расчетом, чтобы в сумме они давали не менее 30 % от  $D_{общ}$  (т. е. в большинстве случаев приблизительно 5–6 гармоник).

Анализ результатов за одинаковый период исследования показал, что в многолетних колебаниях стока рек Урала и Приуралья наиболее часто встречаются 17–19-летние ритмы. Период длительностью  $\approx 18,6$  г. был получен в 1737 г. Брадлеем при разложении потенциала приливообразующей силы Луны (Смирнов, 1974).

Установлено, что многолетний прилив – реальное явление в океане, приводящее к заметным изменениям в режиме вод. В России исследованиями долгопериодных приливов на процессы в атмосфере Земли занимались Е.В. Максимов (1977), А.В. Шнитников (1997) и др. А. Фукуока обнаружен 17–19-летний ритм в циркуляции вод Куроисио, А.М. Баталиным – в температурных изменениях вод Атлантики (Саруханян и др., 1971). О.А. Дроздовым, А.С. Григорьевой (1971) ритм выявлен в многолетних колебаниях осадков, М.А. Андреевой (1973) – в колебаниях уровней озер Зауралья, Н.П. Смирновым (1974) – в зональной циркуляции атмосферы, Н.В. Гуляевой – в изменчивости увлажнения ландшафтов Южного Урала и прилегающих равнин, Н.С. Рассказовой (1992б) – в многолетних колебаниях годового стока рек Зауралья.

В бассейне р. Тобол 17–19-летние ритмы встречаются на 84 % створов, при этом в 28 случаях ( $\approx 65\%$ ) этот ритм стоит на первом месте и вносит максимальный вклад в общую дисперсию признака. Эта ситуация характерна для большей части бассейна р. Тобол.

*11–14-летний ритм* выявлен на 34 створах рек из 43 взятых в обработку ( $\approx 79\%$ ). В 23 случаях он стабильно занимает второе место после 17–19-летнего. Его вклад в общую дисперсию признака варьирует по рассматриваемой территории достигает 12,2 % (р. Тура – Туринск).

11-летняя периодичность обнаружена во всех сферах Земли: в колебаниях гидрометеорологических характеристик (Дружинин, 1970; Агарков, 1973; Апасова, 1984; Дроздов, 1990 и др.). Этот ритм является наиболее известным, и до последнего времени он считался только солнечным ритмом.

Таблица 3.3

Сводная таблица ведущих ритмов в стоке рек бассейна р. Тобол  
за период с 1931 по 1987 гг.

№ реки в базе данных	Река – пост	Ведущие гармоники в годах (в числителе)/ Вклад в $D_{общ}$ (в знаменателе)						Суммарный вклад в $D_{общ}$ , %
		3	4	5	6	7	8	
1	2							
Бассейн р. Тобол (средние реки) Горно-таежная зона								
157	Тура – Верхотурье	14/10,8	8/8,2	2/7,8	27/7,5	3/7,1	41,4	
159	Тагил – Малыгино	14/16,8	11/8,7	6/7,2	18/7,1	8/6,8	46,6	
160	Тура – Туринск	11/12,2	6/10,6	18/9,3	5/8,7	7/7,6	48,4	
161	Реж – Ключи	18/13,3	14/12,9	8/12,2	7/9,4	5/9,4	57,2	
162	Ница – Ирбит	8/12,9	18/12,8	27/12,4	11/9,1	5/6,9	54,1	
164	Сосьва – Денежкино	3/10,8	2/9,9	8/9,3	5/8,8	11/7,7	46,5	
166	Лобва – Лобва	3/10,7	3/7,8	8/7,6	6/7,7	11/7,5	41,3	
168	Ивдель – Ивдель	5/10,0	27/10,0	7/9,9	8/9,3	11/7,8	47,0	
Лесостепная зона								
147	Уй – Степное	18/14,3	27/12,1	14/7,4	11/7,1	8/5,5	46,4	
154	Теча – Першинское	18/12,8	27/12,7	14/10,4	5/8,1	8/4,6	48,6	
163	Пышма – Богандинское	27/20,7	8/17,0	18/9,2	14/8,6	11/6,9	62,4	

Таблица 3.4

Сводная таблица ведущих ритмов в стоке рек бассейна р. Тобол  
за различные периоды наблюдений

№ в базе данных	Река – пост	Длина реализации (лет)	Ведущие гармоники (в числителе) / Вклад в $D_{общ}$ % (в знаменателе)								Суммарная дисперсия в % от $D_{общ}$
			4	5	6	7	8				
1	2	3								9	
157	Тура – Верхотурье	1895–1985	7,2/10,1	11/8,6	16/7,2	2/5,7	4/5,3			36,9	
167	Ляля – Среднесалтановка	1931–1985	23/14,9	14/8,6	2/10,8	3/7,7	4/6,7			48,7	
150	Ермутла – Ермутла	1961–1987	5/20,0	12/18,7	8/17,1	3/13,7	24/6,9			76,4	
155	Миасс – Сосновское	1931–1965	5/13,9	30/9,8	15/33,5	8/4,8	–			62,0	
162	Ница – Ирбит	1892–1987	17/11,3	14/9,4	7/8,9	5/8,7	11/6,9			45,2	

Однако, недавно были обнаружены колебания с периодом 11–13 лет в звездной активности и в атмосфере Юпитера (Максимов, 1970; Кригель, 1988). Экспериментально доказано, что эти колебания являются ритмами космоса.

В результате анализа установлено, что этот ритм является ведущим для рек горно-таежной зоны Зауралья, расположенных южнее критической параллели Стоваса (р. Тура – г. Туринск, р. Тура – с. Верхотурье, р. Тагил – с. Малыгино). В районе критических параллелей Стоваса солнечнообусловленный ритм имеет наименьшую длительность (10 лет). При этом его значимость составляет менее 1 %.

Приблизительно одинаковой повторяемостью и наибольшей частотой в многолетней ритмике стока рек Тобола обладает ритм продолжительностью 5–8 лет. На природу циклов *длительностью 5–6 и 7–8 лет* существует несколько точек зрения. О.А. Дроздов (1969), М.С. Эйгенсон (1963), Т.В. Покровская (1976) считают данные ритмы результатом биения 11-летнего солнечного цикла. Б.И. Сазонов и В.Ф. Логинов (1969) полагают, что циклы продолжительностью 5–7 лет являются итогом сложного взаимодействия межпланетных магнитных полей с протонами высоких энергий. И.В. Максимов и Н.П. Смирнов (1965) связывают этот ритм с движениями полюса Земли. Он возникает при наложении 14-месячных свободных колебаний оси вращения Земли на её вы-нужденные 12-месячные колебания, и создает полюсной прилив в гидросфере. 5–8-летний ритм часто разделяют на 5–6-летний солнечный цикл Эйгенсона и вариацию с периодом 7–8 лет, которая рассматривается исследователями как результат воздействия на океан и атмосферу силы деформации, возникающей вследствие свободных колебаний оси вращения Земли. Сила деформации приводит к возникновению в океане так называемого «полюсного прилива». Как видно из вышеизложенного эти два ритма тесно взаимосвязаны и их разделение является весьма условным. Ритмика 5–8-летней длительности обнаружена Е.В. Воробьевой (1968) в многолетнем ходе индекса геомагнитной возмущенности  $K_p$ . По ее мнению эти циклы являются причиной аналогичной метеорологической (а, следовательно, и гидрологической) цикличности.

5–8-летние ритмы преобладают над 2–4-летними практически на всей территории, кроме рек 60-ой параллели, где ярко выражено преобладание квазидвухлетнего ритма стратосферных ветров. Преобладание устойчивых и значимых 5–8-летних ритмов хорошо заметно в горно-таежной зоне. Причем здесь 6-летние циклы преобладают над 5-летними и 8-летние над 7-летними. В горно-таежной зоне Зауралья (примерно до р. Тура), а также лесной зоне (на широтах 59–60°) преоб-

ладает 7-летний ритм, а южнее – 8-летний. В Зауралье также в целом преобладают 6 и 8-летние ритмы. На равнинной территории встречаются 5 и 7-летние ритмы. Вклад 5–8-летних ритмов в общую дисперсию признака по исследуемой территории изменяется от 4 до 26 %.

*2–4-летние ритмы* встречаются повсеместно, но наиболее ярко они выражены в районе критических параллелей Стоваса. В результате анализа выявлено, что 2–4-летние ритмы обладают высокой частотой повторяемости. Двухлетний ритм является одной из важнейших особенностей изменчивости метеорологических процессов, происходящих в нижней тропосфере, которые находят свое отражение в гидросфере. В настоящее время считается, что фактором, способствующим возникновению квазидвухлетнего цикла, являются колебания скорости вращения Земли. Есть и другое мнение относительно его происхождения. Так, например, J. Williams (1978) считает, что квазидвухлетний ритм складывается из пяти диапазонов частот и его нельзя считать устойчивым явлением. Впервые этот ритм был обнаружен в изменениях характера погоды. А.И. Воейковым и американским исследователем Н. Клайтоном. Он был затем обнаружен Р.В. Абрамовым – в ходе морфологических характеристик исландской депрессии, Байдалом – в изменении местоположения полюса, О.А. Дроздовым и А.С. Григорьевой – в многолетних колебаниях атмосферных осадков и др. В многолетних колебаниях стока рек двухлетний ритм впервые был выявлен в 1963 г. Римой Алессандро. О.Ф. Кондрацовой (1974) установлено, что ритм продолжительностью 2–4 года (квазидвухлетний) является характерной особенностью общей циркуляции слоев атмосферы.

Преобладание 2–4-летних ритмов в многолетних колебаниях стока рек, расположенных в районе критических параллелей Стоваса вероятно, связано с тем, что они являются параллелями зонального расчленения атмосферы, т. е. своеобразными «воротами» для проникновения стратосферных ветров.

Выводы, полученные в результате анализа табл. 3.3, подтверждаются табл. 3.4, где представлены результаты исследований с использованием различных длин реализаций. Замечено, что ведущими ритмами (в порядке убывания их длительности) являются те же самые ритмы: 17–19; 11–14; 7–8 и 2–4-летние. Выявлено также наличие более длительных ритмов продолжительностью – 21–23, 28–35 и 45 лет. Ритмы 21–23 года считаются ритмами Солнца и увязываются с полярностью солнечных пятен, а ритмы продолжительностью 15, 28–35, 45 лет называют брикнеровскими. В результате исследований обнаружен значимый брикнеровский ритм продолжительностью 28 лет (7–14 %) во временной структуре перечисленных рек горно-таежной зоны. Однако, досто-

верность их существования, как указывалось ранее, невелика из-за недостаточных по продолжительности рядов наблюдений.

Существование указанных ритмов в стоке рек Тобольского бассейна подтверждается разностными интегральными кривыми. Образец кривых приведен на рис. 3.8, на котором замечены составляющие продолжительностью 7–8, 22–23, и брикнеровский период продолжительностью 28 лет. Достоверность последнего невелика из-за небольших по продолжительности рядов. Длительность этого ритма непостоянна и может варьировать от 25 до 50 лет. Выделяют длинный брикнеровский период 40–49 лет, короткий 28–35 лет и 15 летний полупериод. Эта ритмичность является общепланетарной и присуща всей Географической оболочке. Ритмы продолжительностью 30–35 лет обнаружены в геологических отложениях, в приросте колец древесины, что связано с динамикой увлажнения, в спектре помутнений атмосферы, вызванных извержением вулканов. В гидросфере 30-летние периоды обнаружены в изменении уровня Каспия. Э.И. Саруханяном и Н.П. Смирновым (1971) установлено, что 15-летняя ритмичность в бассейне р. Тобол характерна только рекам с полизональным режимом.

Анализ разностных интегральных кривых в подавляющем большинстве случаев подтвердил наличие ритмов, выявленных строгим математическим методом Фурье-анализа. В ряде случаев, (например, на створе Миасс – Сосновское) с помощью разностных интегральных кривых удалось устранить ложный период – 56 лет, равный длине периода исследования и именуемый «белым шумом».

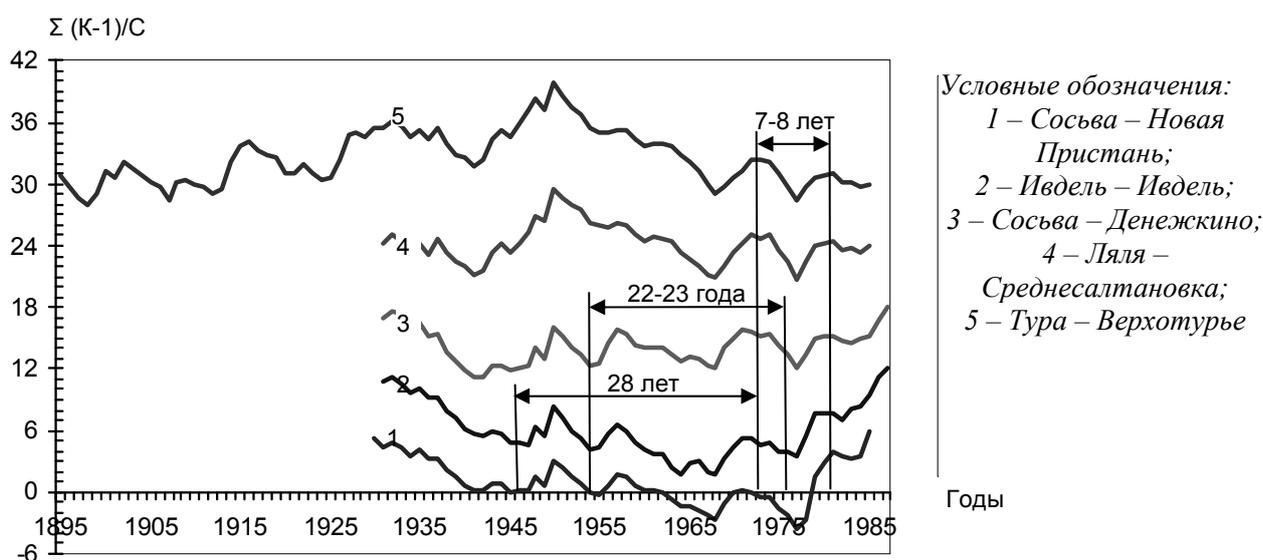


Рис. 3.8. Разностные интегральные кривые многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол

Для ведущих ритмов за период с 1931 по 1987 гг. составлены таблицы распределения их параметров по территории (табл. 3.5, 3.6). В обработку взяты результаты с  $D \geq 5\%$ .

Таблица 3.5

*Распределение параметров 17–19-летнего ритма по территории бассейна р. Тобол за период с 1931 по 1987 гг.*

№ в базе данных	Река – пост	$D\%$	$A_m$	$\varphi^\circ$	$P$ (год)
1	2	4	5	6	7
Бассейн Тобола					
147	Уй – Степное	26	0,72	–61°18'	18,7
152	Синара – Верхнеключевское	13	0,51	–39°42'	18,7
153	Тура – Туринск	14	0,53	–38°24'	18,7
155	Миасс – Сосновское	9	0,43	–73°06'	18,7
159	Тагил – Малыгино	11	0,47	–31°54'	18,7
161	Реж – Ключи	11	0,46	–46°54'	18,7
162	Ницца – Ирбит	17	0,59	–49°30'	18,7
163	Пышма – Богандинское	16	0,57	–31°54'	18,7
164	Сосьва – Денежкино	5	0,31	–16°54'	18,7

Амплитуды многолетних колебаний стока рек в 17–19-летнего ритма по территории подтверждают достоверность его существования. Ритмы и их параметры для выявления закономерностей распределения по исследуемой территории наносились на карты. На рис. 3.9 представлена картосхема распределения параметров 17–19-летнего ритма.

На рис. 3.10 и 3.11 представлены соответственно картосхемы распределения параметров 11–14-летнего и 7–8-летнего ведущих ритмов по территории бассейна р. Тобол за период с 1931 по 1987 гг.

Совместный анализ результатов картографирования ведущих ритмов и распределения их параметров (амплитуд и фаз) по территории Тобольского бассейна позволил обобщить результаты исследований и выделить районы, различающиеся продолжительностью гармоник, распределением и знаками фазовых углов.

Установлено, что на территории бассейна р. Тобол преобладают четыре ритма продолжительностью 17–19, 11–14, 7–8 и 2–4 года.

На основании одинакового набора перечисленных ритмов, их продолжительности и значимости проведено районирование по признаку ведущих ритмов. Картосхема районирования территории бассейна р. Тобол в пределах российских границ представлена на рис. 3.12.

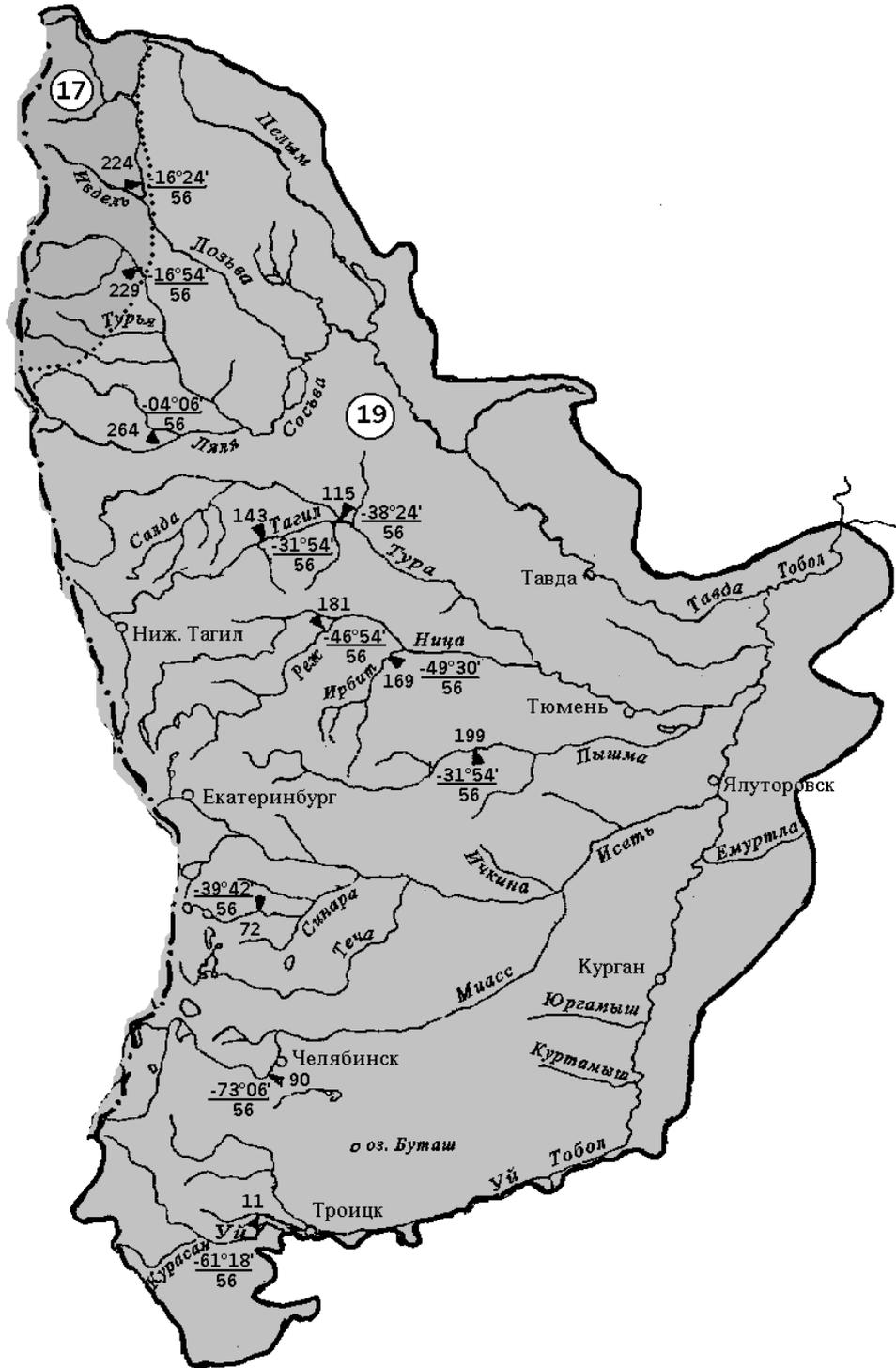
Таблица 3.6

*Распределение параметров 11–14-летнего ритма  
в бассейне р. Тобол за период с 1931 по 1987 гг.*

Река – пункт	$D \%$	$A$ (в метрах)	$\varphi^\circ$	$P$ (в годах) длительность ритма
1	2	3	4	5
Тура – Туринск	8,0	0,39	$-113^\circ 48'$	11
	6,0	0,34	$-4^\circ 36'$	14
Ница – Ирбит	8,0	0,39	$129^\circ 30'$	11
Пышма – Богандинское	16	0,57	$-31^\circ 54'$	11
Ивдель – Ивдель	3	0,26	$163^\circ 18'$	11
Сосьва – Денежкино	7,7	0,39	$-113^\circ 48'$	11
Лобва – Лобва	7,5	0,36	$-167^\circ 48'$	11
Уй – Степное	6,0	0,35	$3^\circ 54'$	14
	7,0	0,38	$-158^\circ 24'$	11
Миасс – Сосновское	19	0,62	$-61^\circ 12'$	14
Тагил – Малыгино	11	0,47	$-127^\circ 24'$	11
	16	0,57	$+7^\circ 54'$	14
Реж – Ключи	5,0	0,31	$-126^\circ 12'$	11
Тура – Верхотурье	10,8	0,46	$-171^\circ 13'$	11
Синара – Верхнеключевское	13	0,52	$+8^\circ 54'$	14
	10	0,44	$-162^\circ 36'$	11

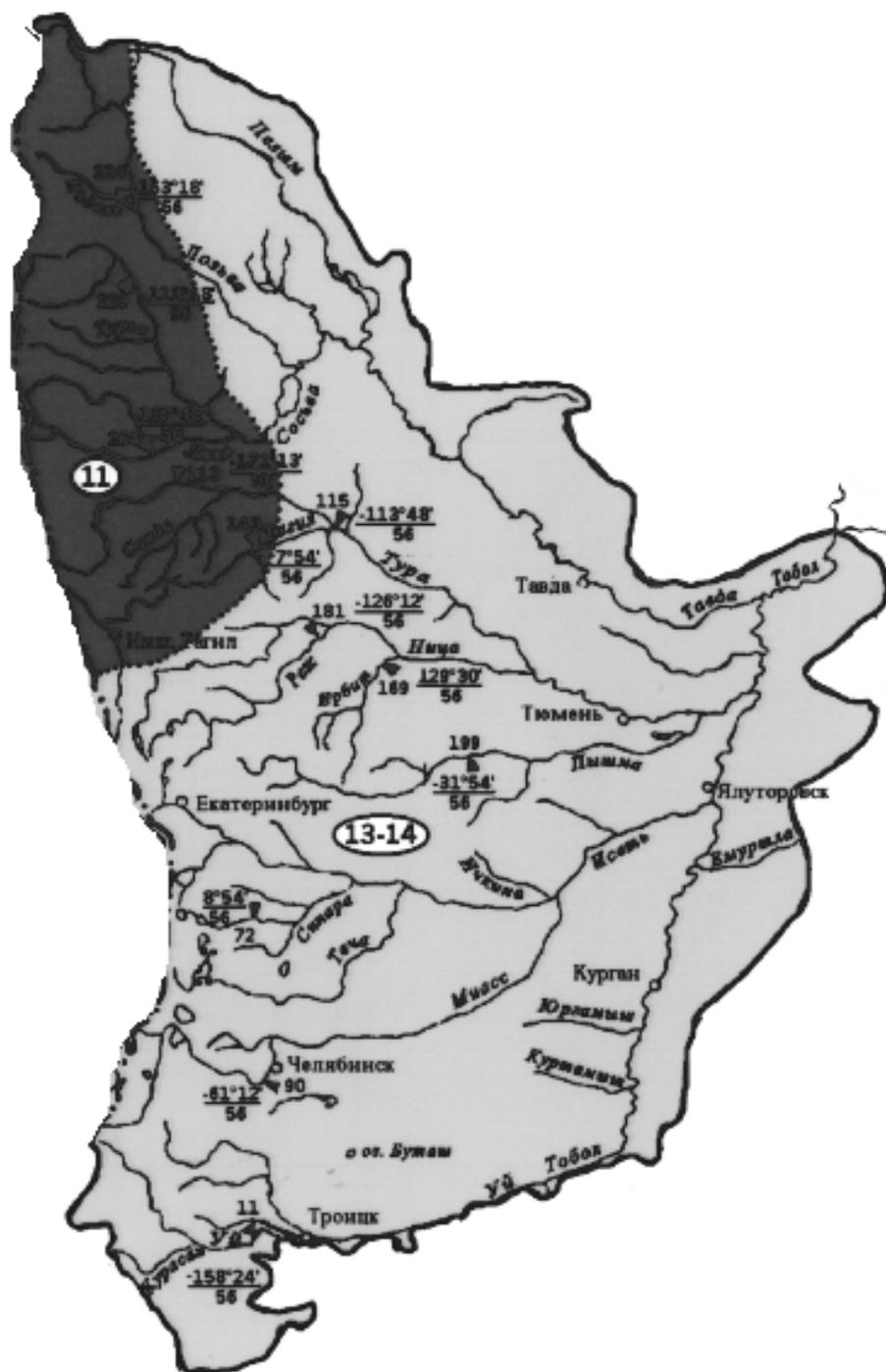
На картосхеме выделены районы с локализацией определенного набора ритмов. Ритмы приведены в порядке убывания их продолжительности. Внутри каждого района или подрайона указаны ритмы, имеющие наибольшую значимость. Знак равенства означает примерно одинаковую значимость ритмов. Всего на территории Тобольского бассейна по признаку ритмичности выделено 3 района и 2 подрайона.

На основании выявленных ведущих ритмов и вероятного положения границ их распространения автором даны рекомендации по выбору временного интервала, на который необходимо составлять серии карт с целью кадастровой и экономической оценки земель (для этой цели необходимо лишь знание ведущих ритмов максимальной продолжительности). Рекомендации даны в виде картосхемы, где указана максимальная продолжительность ритмов в каждом выделенном районе (рис. 3.13). Картосхема помещена также в картографический банк данных ИС-технологии «Природа», представленный на [http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000502623](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000502623).



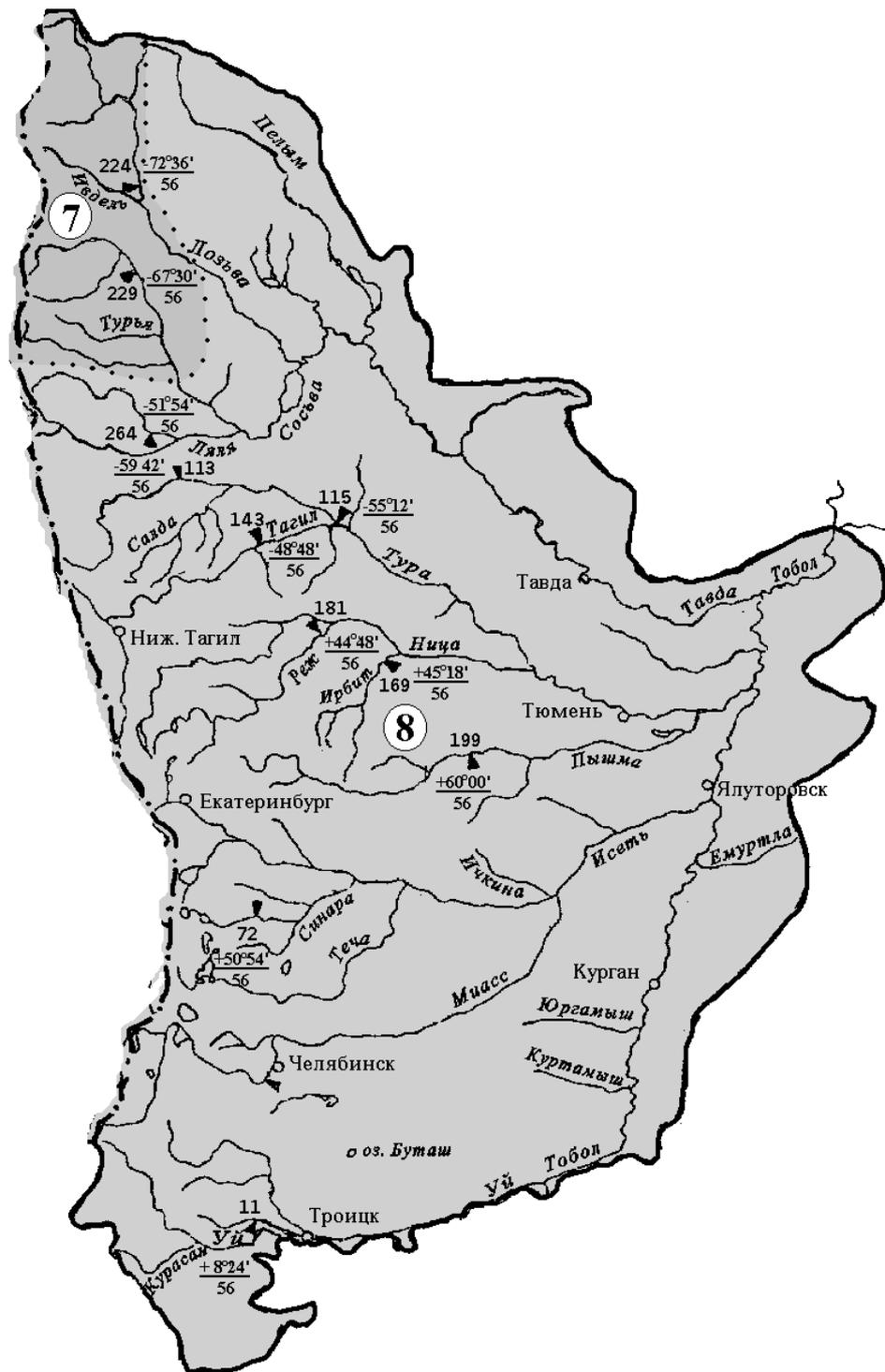
Условные обозначения:  
 $-73^{\circ} 06'$  – фазовый угол;  
 56 – период исследования;  
 19 – районы преобладания ритмов

Рис. 3.9. Картограмма распределения параметров 17–19-летнего ритма по территории бассейна Тобола



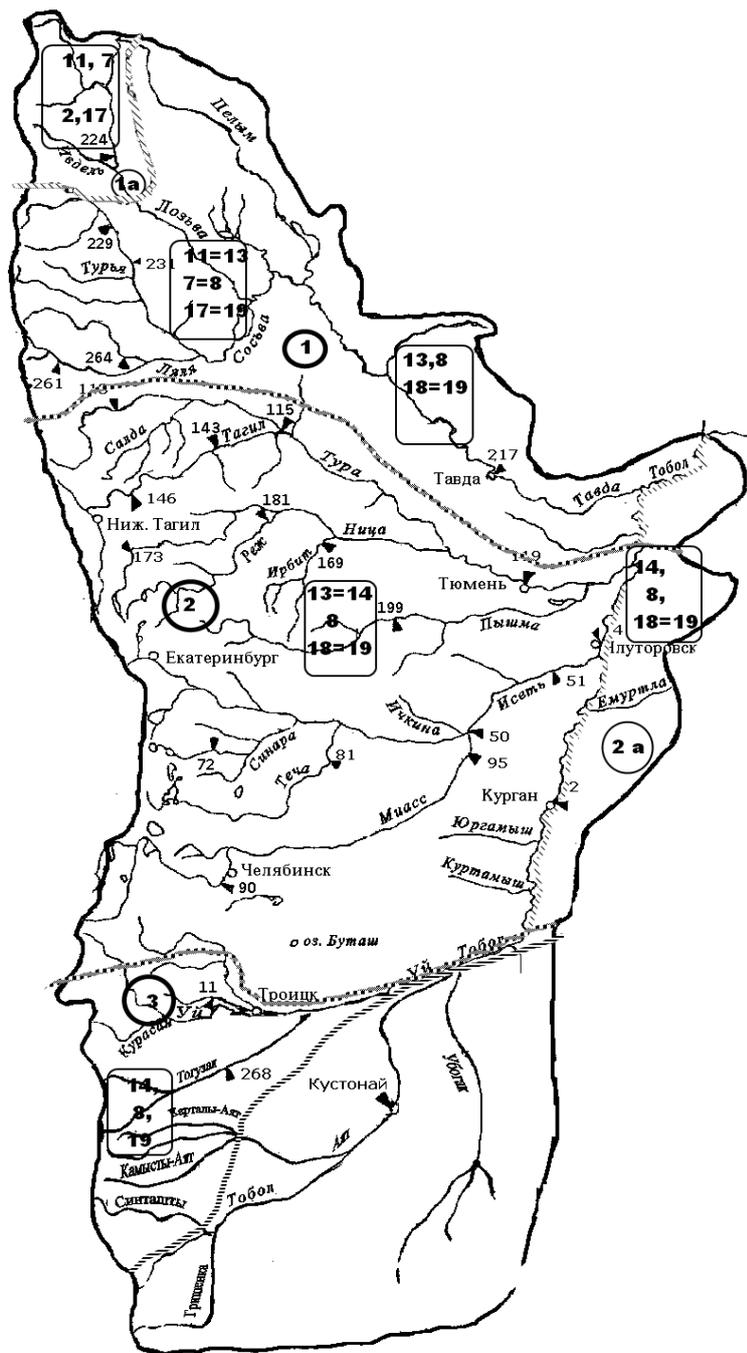
Условные обозначения:  
 $81^{\circ}12'$  – фазовый угол;  
 56 – период исследования;  
 11 – районы преобладания ритмов

Рис. 3.10. Картограмма распределения параметров 11–14-летнего ритма по территории бассейна р. Тобол



Условные обозначения:  
 $+50^{\circ}54'$  – фазовый угол;  
 56 – период исследования;  
 7 – районы преобладания 7 или 8-летнего ритмов

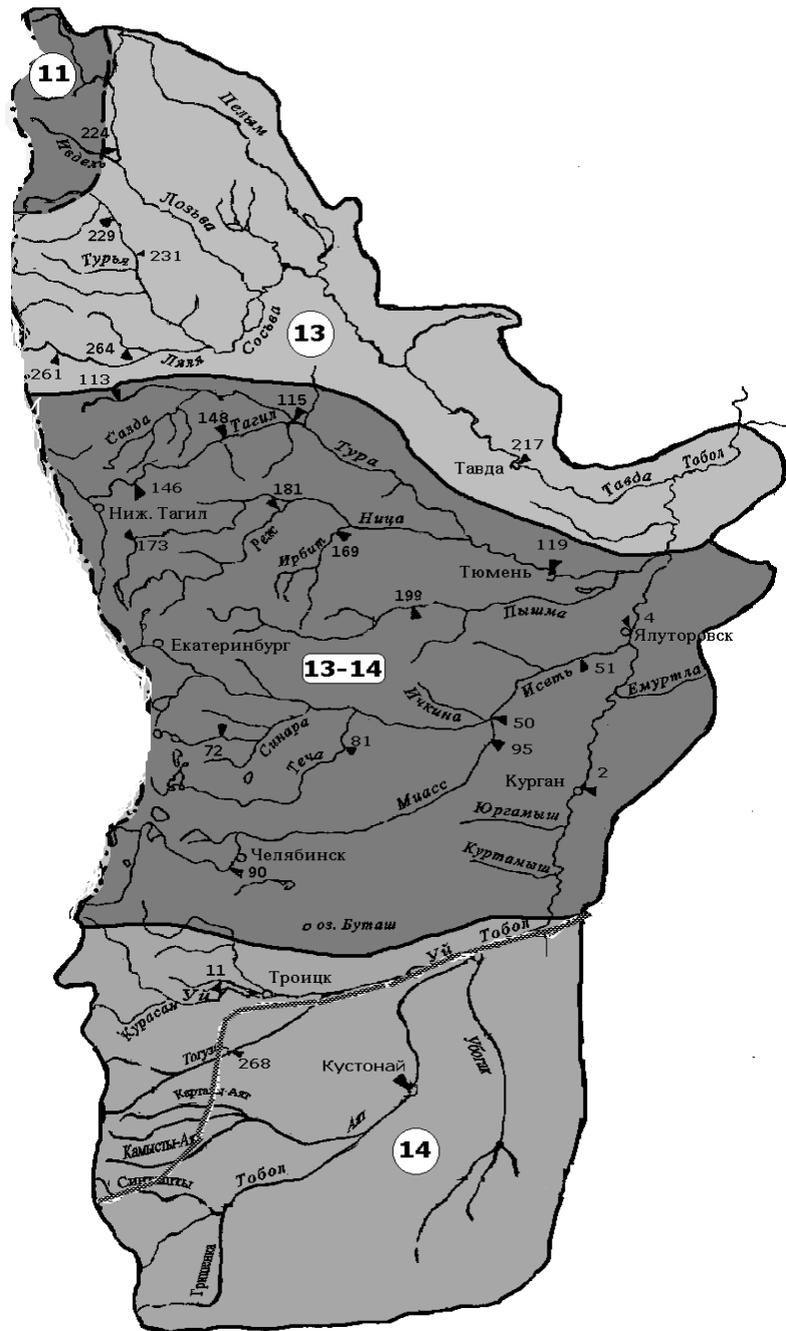
Рис. 3.11. Картограмма распределения параметров 7–8-летнего ритма по территории бассейна р. Тобол



- Условные обозначения:
- государственная граница;
  - границы районов;
  - границы подрайонов;
  - ③ — номера районов и подрайонов;
  - |         |
|---------|
| 11 = 13 |
| 7 = 8   |
| 18 = 19 |

 — ведущие ритмы

Рис. 3.12. Картограмма районирования территории бассейна р. Тобол по ведущим ритмам в многолетних колебаниях речного стока



- Условные обозначения:
-  – государственная граница;
  -  – гидрологические посты;
  - 11** – рекомендуемые периоды для составления кадастровых карт;
  -  – границы районов;
  -  – границы подрайонов;
  -  – водораздельная граница

Рис. 3.13. Картограмма рекомендуемых периодов с целью кадастровой и экономической оценок земель на территории водосборной площади бассейна р. Тобол

В результате исследования временной структуры многолетних колебаний стока рек Восточного склона Урала и Зауралья, выявлены некоторые особенности и закономерности в распределении ритмов с севера на юг и с запада на восток:

- 1) значительное влияние на сток рек оказывают зональные факторы, «формирующие» временную структуру многолетних колебаний стока рек;
- 2) в многолетних колебаниях стока рек, расположенных вблизи критических параллелей Стоваса, значимость 10–11-летней солнечнообусловленной составляющей значительно меньше, чем у других рек;
- 3) в горно-таёжной зоне бассейна р. Тобол солнечнообусловленный ритм имеет меньшую продолжительность по сравнению с лесостепной и степной зонами – 11 лет, против 13–14 лет. Причём, при продвижении с севера на юг значимость его нарастает;
- 4) в стоке рек бассейна р. Тобол 7–8 летний ритм повсеместно преобладает над 5–6-летним ритмом.

#### **3.4. Обоснование выбора показателей, отражающих воздействие глобальных факторов на многолетние колебания стока рек, с целью изучения их взаимосвязи**

Исследование проблемы изменчивости климата на Земле приводит к необходимости выявления связи гидрометеорологических полей с космо- и геофизическими факторами. В настоящее время воздействие солнечной активности на барическое поле Земли и циркуляцию атмосферы рассматривается в планетарном масштабе, а все остальные изменения гидрометеорологических процессов, их связь с проявлениями солнечной активности считаются вторичными, осуществляющимися через перестройку атмосферной циркуляции.

Целью исследований автора является выявление факторов, оказывающих наибольшее воздействие на многолетние колебания годового стока рек Уральского региона. Для решения этой задачи необходимо объективно произвести отбор показателей, отражающих воздействие глобальных факторов на атмосферу Земли, а через нее на климат и сток исследуемой территории.

Автором изучалась взаимосвязь стока рек природных зон Предуралья и Зауралья со следующими космо- и геофизическими факторами: солнечной активностью, приливообразующей силой Луны и Солнца, крупномасштабными атмосферными процессами и некоторыми их следствиями (годовыми аномалиями температуры воды в Северной Атлантике и приземной температуры воздуха в Арктике, явлениями «ЭНЮК и САК», увлажнением, индексами засушливости, и др.). Показатели, отражающие влияние вышеперечисленных факторов на сток рек, приведены в табл. 3.7. Ниже приводится

обоснование выбора показателей для оценки их влияния на пространственно-временную структуру полей стока рек и их краткая характеристика.

Таблица 3.7

Среднегодовые показатели,  
отражающие влияние космо- и геофизических факторов  
на климат и многолетние колебания годового стока рек

Название показателя	Факторы, отражаемые показателем	Обозначение	Ед. измерения
Относительные числа солнечных пятен (числа Вольфа)	Солнечная активность	$W_{\odot}$	б/р
Тропосферноэффективные индексы солнечной активности (по Логинову)		$T_{\odot}$	
Значение 19-летней составляющей потенциала приливообразующей силы Луны и Солнца на $\varphi=56$ град. и 60 град. с.ш.	Полусный прилив	$F_{19}$	$\text{см}^2/\text{сек}^2$
Среднегодовые значения изменения продолжительности суток	Нутация земной оси	$\Delta T$	$0,5 \cdot 10^{-5}$ с
Координаты долготы и широты Исландского минимума давления	Активность барических образований	$\varphi, \lambda$	градус
Индекс $SOI$ – Южное колебание (ЭНЮК)	Интенсивность океанических течений	$I_{SOI}$	мб
Индекс $NAO$ – Северо-Атлантическое колебание (САК)		$I_{NAO}$	мб
Индексы меридиональной циркуляции в Северной Атлантике (январь)		$R_N$	мб
Аномалии температуры воды в Северной Атлантике в квадратах Смеда Д и Е		$\Delta t^{\circ}$	градус
Годовое число дней с циклонами в 8-ом р-не Вительса ( $ATP$ )	Глобальная атмосферная циркуляция	$Z_8$	дни
Повторяемость западной формы а.ц.		$W$	
Повторяемость восточной формы а.ц.		$E$	
Повторяемость меридиональной формы а.ц.	$C$		
Годовые аномалии приземной температуры воздуха в Арктике	Увлажнение подстилающей поверхности	$T$	(град)
Индексы засушливости $DM$ ( $ATP$ )		$DM$	б/р
Коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова в бассейне р. Тобол		$K_{увл}$	б/р

Для изучения влияния *солнечной активности* на процессы в нижней атмосфере, как правило, применяются либо индексы волновой, либо корпускулярной радиации. Они являются достаточно эффективными при исследовании влияния Солнца на ионосферу и стратосферу. Однако связи этих индексов с характеристиками нижней атмосферы (тропосферы) для подобных исследований оказываются малопригодными, поскольку они слабы и неустойчивы в пространстве и времени (Логоинов, 1992).

Для целей исследования автором использовались два показателя: *относительные числа солнечных пятен* (числа Вольфа) –  $W_{\odot}$  и *тропосферно-эффективные индексы солнечной активности* –  $T_{\odot}$ . Первый показатель характеризует общую напряженность ультрафиолетовой радиации и является достаточно распространенным для подобного рода исследований. Вторым показателем – тропосферные индексы солнечной активности, характеризует существенные вариации излучения Солнца в близком ультрафиолете и видимом участке спектра в нижней атмосфере. При этом установлено, что связи метеорологических характеристик с индексом  $S_{\Sigma}$  в 1,3 раза больше, чем в случае известных индексов солнечной и геомагнитной активности ( $W_{\odot}$ ,  $K_p$ ) (Логоинов, 1992). Индекс вычисляется следующим образом:

$$S_B = abS_{\phi} + cdS_{\Pi} - S_{\Pi}, \quad (3.1)$$

где  $a$  – переменное отношение яркости факела и пятен;  $b$  – переменное отношение площадей факелов по Пулковскому и Гринвичскому каталогу;  $S_{\phi}$  – площади, занимаемые факелами (по данным Уссурийской горной солнечной станции);  $c$  – переменное отношение яркости пятен и факелов;  $d$  – переменное отношение площадей пятен по пулковскому и гринвичскому каталогу;  $S_n$  – площади активных образований на Солнце.

В настоящее время создан новый индекс электромагнитного солнечного излучения ( $S_{\theta}$ ) за период с 1881 по 2010 г. (Логоинов, 2012). В его основе лежит расчет ряда оценок яркости и площади активных образований на Солнце. Если для известных индексов солнечной активности (относительных чисел Вольфа, площади солнечных пятен, индекса радиоизлучения на длине волны 10,7 см –  $S_{10,7}$ ) самыми мощными являются 11-летний и квазивековой циклы, то для индекса  $S_{\theta}$  – 11-летний и 43–45-летний циклы. Похожая структура характерна для изменений площадей факелов на Солнце.

Годовые значения индекса  $S_{\Sigma}$  вычисляются более корректно, чем среднемесячные, так как при этом используются среднегодовые значения асимметрии солнечной активности ( $A$ ). К сожалению, вычисление тропосферно-эффективных индексов солнечной активности закончено 1969 годом, в связи с недостаточностью данных для вычисления  $S_{\Sigma}$ . *Приливообразующая сила Луны и Солнца* вызывает колебания оси вращения Земли. Сила деформации, возникающая вследствие свободных колебаний оси

вращения, приводит, в свою очередь, к возникновению в океане так называемого «полюсного прилива». С ним связаны: колебания уровня Мирового океана, динамика основных океанических течений, изменение размеров нутационной миграции Исландского минимума давления, изменение гидрологического режима океана. И.В. Максимовым (1970) составлен градиентный индекс –  $R_N$  в качестве показателя, отражающего совместное влияние на циркуляцию океанических вод многолетних вариаций приливообразующей силы Луны и силы деформации. Последняя представляет собой переменную часть центробежной силы Земли.

В основу индекса  $R_N$  положена разность статических высот среднего уровня моря (в мм) на  $45^\circ$  и  $75^\circ$  с.ш. Она является результатом взаимного наложения двух многолетних статических волн: девятнадцатилетней волны деклинационного лунного прилива и шестилетних изменений (в данной долготе) волны «полюсного прилива» и достигает в указанном широтном интервале до 100 мм. В результате исследований установлено, что положительные значения индекса свидетельствуют о наклоне среднего уровня моря в сторону полюсов, а отрицательные значения – от полюса в сторону экватора. При этом при положительных значениях рассматриваемого индекса деятельность Гольфстрима усиливается, а при его отрицательных значениях, наоборот, затухает. Таким образом, градиентный индекс И.В. Максимова служит характеристикой оживленности Атлантической циркуляции, в результате которой увеличивается количество влаги приносимой циклонами на территорию Урала и Приуралья. Последнее сказывается на увлажнении подстилающей поверхности и условиях формирования речного стока.

*Исландский минимум атмосферного давления* формируется и располагается над океаном. Через систему ветров он непосредственно воздействует на океаническую циркуляцию и служит проявлением общей циркуляции атмосферы. И.В. Максимовым (1970) установлено, что среднее значение положения исландского минимума давления по долготе изменяется в противофазе по отношению к многолетним изменениям индекса циркуляции океана. Это приводит к необходимости рассмотрения влияния на гидрологический режим океана и поверхностных вод суши факторов, характеризующих макроциркуляционные процессы в атмосфере. В качестве индексов, отражающих влияние крупномасштабных атмосферных процессов на многолетнюю изменчивость стока рек, взяты географические координаты долготы и широты положения Исландского минимума атмосферного давления и данные о повторяемости трех форм а.ц. по Г.Я. Вангенгейму ( $W$ ,  $C$ ,  $E$ ).

*Формы а.ц. Г.Я. Вангенгейма ( $W$ ,  $C$ ,  $E$ )* характеризуют состояние атмосферной циркуляции. Различные формы а.ц. по-разному влияют на увлажнение исследуемой территории, а, следовательно, на многолетнюю изменчивость стока рек и его пространственно-временную струк-

туру. В целом, в атмосфере Земли преобладает западный перенос, который постоянно нарушается по различным причинам космического происхождения, что приводит к изменению макроциркуляционных процессов в атмосфере. Так, например, А.С. Шкляевым (1967) установлено, что в Зауралье преобладает меридиональный тип циркуляции, а Предуралье в большей степени подвержено влиянию Атлантики. Поэтому исследование пространственно-временной структуры полей стока рек при различных формах а.ц. является актуальным.

*Индекс Райта (индекс SOI)* характеризует интенсивность мощного природного события *Эль-Ниньо*. Суть явления Эль-Ниньо заключается в резком повышении температуры (на 5–9 °С) поверхностного слоя воды на площади порядка 110 тыс. км<sup>2</sup>. В период события Эль-Ниньо изменяется интенсивность Южного Колебания (*ЭНЮК*), представляющего собой разность величин атмосферного давления на острове Таити (о-в Французской Полинезии  $\varphi=18^\circ$  ю.ш. и  $\lambda=149^\circ$  в.д.) и в г. Дарвине (Австралия  $\varphi=13^\circ$  ю.ш. и  $\lambda=132^\circ$  з.д.). Следует подчеркнуть, что общепризнано существование более десятка климатообразующих факторов, одним из которых считается автоколебание в системе атмосфера – океан (Эль-Ниньо – Южное колебание) (Рассказова, 2002). Процессы, развивающиеся при Эль-Ниньо, региональны, но их последствия носят глобальный характер и сопровождаются климатическими изменениями. Оценки энергетики взаимодействия океана и атмосферы позволили прийти к заключению, что энергия Эль-Ниньо в состоянии привести к возмущениям всю атмосферу Земли, а, следовательно, в связи с этим представляют особый интерес для исследования (Хунджуа, [www.nature.ru](http://www.nature.ru)). *Индекс NAO*, также как и индекс *SOI* рассчитывается по приземному давлению воздуха. Он характеризует *Североатлантическое колебание (САК)*, которое приводит к возникновению в океане термохалинной североатлантической циркуляции (Северо-Атлантическое течение). Существование этого течения тесно связано с величиной концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере.

В ответ на потепление Северо-Атлантическое течение замедляется (S. Manabe, R.J. Stouffer, 1993), а при содержании CO<sub>2</sub>, равном 750 ppm, наступает его коллапс – полное прекращение циркуляции. Причины изменения течения в том, что потепление наземного воздуха вызывает рост температуры поверхностных слоев воды, а также повышение давления насыщенного пара в северных районах, а значит, и усиленную конденсацию, из-за чего возрастает масса распресненной воды на поверхности океана в Северной Атлантике. Оба процесса приводят к усилению стратификации водяного столба и замедляют (или вовсе делают невозможным) постоянное формирование холодных глубинных вод в северной части Атлантики, когда поверхностные воды, охлаждаясь и становясь более тяжелыми, опускаются в придонные области и затем медленно переме-

щаются к тропикам. Изменение поверхностной температуры воды в Северной Атлантике влияет на влагосодержание воздушных масс, а значит на количество осадков и величину стока. Индексом, отражающим эти колебания являются *средние годовые аномалии температуры воды*.

На 9 кораблях в Северной Атлантике ведутся наблюдения за температурой поверхности. Данные наблюдений были объединены англичанином Джоном Смедом. Эти районы называются теперь районами Смеда. Установление связи САК с температурой поверхности воды в северной Атлантике в двух квадратах Смеда Е и Д (корабли погоды расположены соответственно на С-В и Ю-З северной Атлантики) и многолетней изменчивостью колебаний стока рек Урала и Приуралья представляет интересную задачу для исследований.

Для исследования связи многолетних колебаний стока рек с состоянием нижнего слоя тропосферы выбраны два показателя: индекс засушливости  $DM$  и коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова.

Территории основных зернопроизводящих районов России сильно страдают от засух. Для территории СНГ составлен ряд известных каталогов засух, в основу которых положена урожайность зерновых культур. Их недостатком является то, что метеорологические данные привлекаются лишь в качестве дополнительной информации. Для более строгого описания засух предложено множество метеорологических индексов, учитывающих атмосферные осадки, температуру, относительную влажность и дефицит влажности воздуха, а также другие характеристики. Из них в отечественных работах наибольшее распространение получили индексы, основанные на совместном учете осадков и температуры, например, коэффициент Н.Н. Иванова (1957). Он является комплексным показателем увлажнения территории, включающим оба фактора стока: температуру и осадки, которые оказывают разнородное влияние на сток в различных физико-географических зонах. Коэффициент рассчитывался только за теплый период года (IX-IV). Это связано с тем, что на рассматриваемой территории осадки теплого периода составляют около 80 % среднегодовой суммы осадков.

Все вышеуказанные индексы, в том числе и коэффициент Н.Н. Иванова, основаны на данных об осадках и температуре и не учитывают площади их распространения в заданных градациях. А.В. Мещерской, В.Г. Блажевич (1977) было предложено два других индекса: индекс засух ( $D_i - drought$ ) и индекс избыточного увлажнения ( $M_i - moisture$ ), в которых впервые в явном виде учтена площадь распространения осадков и температуры в заданных градациях. Индексы  $D$  и  $M$  являются односторонними (либо засушливость, либо переувлажнение), поэтому их применение для анализа и прогноза ограничены. Во многих задачах, в том числе и в нашей целесообразно использовать единый индекс  $DM$  как разность

между площадями, соответствующими условиям засушливости и переувлажнения. Индексы засушливости *DM* рассчитывались вышеуказанными авторами на основе осредненных по областям, данным наблюдений за осадками и средней месячной температурой за наиболее важный период для развития зерновых культур в основной зернопроизводящей зоне – с мая по июль. Неоднородность рядов осадков, которая неоднократно нарушалась вследствие изменения числа сроков наблюдения и введения (1966 г.) в данные наблюдений поправок на смачивание учтена авторами. Поэтому, помещенные в базу данных и использованные в работе ряды осадков можно считать квазиоднородными (Расказова, 2003).

Таким образом, все перечисленные выше показатели отражают воздействие глобальных факторов на атмосферу Земли, а через нее на многолетние колебания гидрометеорологических полей и могут быть использованы для установления их связи космо-и геофизическими факторами.

### **3.5. Ведущие ритмы в космо- и геофизических факторах и их связь с ритмами в многолетних колебаниях годового стока рек (на примере рек бассейна р. Тобол)**

Связь многолетних колебаний годового стока рек с космо- и геофизическими факторами изучается в связи с исследованиями генезиса этих колебаний (Сомов, 1963; Бережных, Хамьянова, 1978; Акименко, Евстигнеев, 1999; Расказова, 1992, 2000 и др.).

Космические ритмы являются ведущими, определяющими характер развития природных явлений. Ритмы космоса устойчиво проявляются во всех геокомпонентах и геосферах, в отличие от ритмов взаимодействия, проявляющихся в некоторых средах и на ограниченных территориях. Сопоставление временной структуры (набора ритмов) рядов мониторинга природных объектов или процессов (например, осадки, температура воздуха, уровни, расход воды в реках, озерах и т. д.) с временной структурой космических или геофизических факторов, дает возможность предполагать их связность между собой. Наличие и совпадение знака тренда во временных рядах позволяет судить о направленности процесса.

Целью данного конкретного исследования являлось сравнение состава гармонических составляющих в многолетних колебаниях стока рек Камского и Тобольского бассейнов с временной структурой космо- и геофизических факторов. Исследования велись на основе данных мониторинга режима рек Камского и Тобольского бассейнов и более 20-и рядов космо- и геофизических факторов.

В качестве режимной характеристики годового стока рек (см. п. 3.3) брались средние годовые значения расходов воды на створах средних рек

( $2000 < A < 10000 \text{ км}^2$ ), где  $A$  – площадь водосбора реки. Для исследования временной структуры космо- и геофизических факторов рядов применялись те же методы, что и для выявления ритмичности в многолетних колебаниях стока рек: Фурье-анализ (основной), метод фильтрации с фильтром «простое скользящее осреднение» и визуальный метод разностных интегральных кривых (дополнительные). Установление тесноты связи годового стока рек (как интегрального показателя климата) с космо- и геофизическими факторами в ИС-технологии «Природа» осуществлялось при помощи различных методов: кластерного анализа (авторская версия), скользящего осреднения, разностных интегральных кривых. В данном разделе изложены результаты, полученные на основе двух последних методов.

С целью выявления одинаковых составляющих в структуре многолетних колебаний стока рек и космо- и геофизических факторов автором проанализировано около 70 графиков скользящего осреднения различных индексов (с периодами осреднения 5, 15, 25 и 40 лет) и 17 таблиц – результатов Фурье-анализа. В результате их изучения установлено, что наиболее часто встречающимися, также как и в многолетних колебаниях стока рек, в структуре космо- и геофизических факторов являются ритмы продолжительностью от 2–4 до 45 лет. Результаты исследований представлены в табл. 3.8. Изложим результаты анализа таблицы в порядке нарастания длительности ритмов.

Ранее было установлено (см. п. 3.3), что наиболее часто встречающимся в многолетних колебаниях стока рек является 2–4-летний ритм. Он присутствует в стоке рек всех природных зон рассматриваемой территории, при этом значимость его убывает с севера на юг. В космо-геофизических факторах 2–4-летний ритм также присутствует практически во всех показателях, при этом максимума оценка дисперсии достигает в индексах засушливости  $ETP$  (8 % от  $D_{общ}$ ), коэффициентах увлажнения территории (7 %), в индексах  $SOI$  и  $NAO$  (соответственно 9 и 4 %), в среднегодовых значениях изменения продолжительности суток (7 %) и тропосферноэффективных индексах солнечной активности (4 %).

5–8-летние ритмы также присутствуют во всех исследуемых показателях. Наибольшую значимость они имеют в аномалиях температуры воды в северной Атлантике (квадраты Смеда Д и Е). При этом в квадрате Е оценка дисперсии для 6-летнего ритма составляет 22,8 %, а 8-летнего – 11 %. В квадрате Смеда Д, напротив, наибольшую значимость имеет 5–6 летний ритм с оценкой дисперсии от 9,7 до 12,3 %. 5–8-летний ритм обнаружен также в индексах засушливости  $ETP$  (7,2 %), в годовых аномалиях приземной температуры воздуха в Арктике (оценка дисперсии 8-летнего ритма составляет 10 % от  $D_{общ}$ ) и, далее, по нисходящей в индексах  $NAO$  и  $SOI$  (8 и 4 % соответственно). Таким образом, 5–8-летний ритм является составной частью временных структур, как многолетних колебаний стока рек, так и космо-геофизических факторов.

Таблица 3.8

## Ведущие ритмы в многолетних колебаниях космо-геофизических факторов

Индексы, отражающие влияние космо- и геофизических факторов на гидрометеорологический режим	Методы исследования	2-4	5-6	7-8	9-14	15	17-19	22	28-35; 45
1. Тропосферноэффективные индексы солнечной активности	Фурье – анализ	4 (4,2)	6 (4,4)	–	11(4,5)	15(2,5)	18(4)		
	Фильтрация	2-3[2]	5	7,8	9-13[9]	–	18	22*	
2. Индекс <i>NAO</i>	Фурье – анализ	3(3,8)	6(6,2)	8(8)	9 (5,2)	–	–	–	35(7,3)
	Фильтрация	2-4[3]	5-6[6]	7;8*	–	–	–	–	–
3. Индекс <i>SOI</i>	Фурье – анализ	4(8,7)	5(5,4)	7(4,5)	9(5,2)	–	–	–	–
	Фильтрация	2-4[4]	5-6[6]	–	9-11[9]	–	17*	–	33
4. Координаты центра исландского минимума давления (широта)	Фурье – анализ	2-4 (5,2)	–	8(4,2)	11(42,6)	–	–	–	–
	Фильтрация	2-4	5-6	7-8[8]	10-12[11]	–	–	22*	29[3,2]
5. Координаты центра исландского минимума давления (долгота)	Фурье – анализ	3-4(4,2)	6(4,8)	–	–	–	18(5,2)	–	33,45(13)
	Фильтрация	2-4[3]	5-6	7,8	12,13	–	19*	–	–
6. Годовые аномалии приземной температуры воздуха в Арктике	Фурье – анализ	3(4,5)	5(6,5)	8(10,3)	10(3,1)	–	–	–	35(2,7)
	Фильтрация	2-4	5-6[6]	7-8[8]	10-13[10]	–	–	–	36*
7. Среднегодовое значение изменения продолжительности суток в 10 с	Фурье – анализ	3(6,5)	5(3,9)	–	9(5,9)	–	19(3,9)	–	37(6,5)
	Фильтрация	3-4[3]	–	–	11-14	–	–	–	–
8. Аномалии <i>t</i> воды в Атлантическом океане (квадрат Смеда Д)	Фурье – анализ	–	5-6(12)	–	10(11,2)	–	19(11,8)	–	–
	Фильтрация	2-4[3]	5-6[6]	7*	11-12	–	–	–	–
9. Аномалии <i>t</i> воды в Атлантическом океане (квадрат Смеда Е)	Фурье – анализ	2(2,7)	6 (22,8)	8(11)	13(11,1)	–	19(5,3)	–	–
	Фильтрация	2-3[2]	5-6[6]	7-8	12-13[13]	–	–	–	–

Окончание табл. 3.8

Индексы, отражающие влияние космо- и геофизических факторов на гидрометеорологический режим	Методы исследования	2-4	5-6	7-8	9-14	15	17-19	22	28-35; 45
		10. Индексы засушливости ДМ (ЕТР)	2(4,5) Фурье – анализ Фильтрация	5(3,5) 5	8(2,5) 7	11(8) 9-12	15(3,5) 15	19 (?)	
11. Число дней с циклонами в 8-ом р-не Вительса	Фурье – анализ	3(3,8)			12(10)				33(24) 49(13,5)
	Фильтрация	3-4[3]	5-6*	7-8[7]	10-11	15*	18-19	22*	37

Примечание: в круглых скобках указана оценка дисперсии ритма (в %) от  $D_{\text{общ}} = 100\%$ ; в квадратных – наиболее часто встречающиеся ритмы; символом (\*) обозначены редко встречающиеся ритмы; символ (-) означает, что значимость ритма менее 1%.

11-летний солнечнообусловленный ритм, как указывалось выше, обнаружен во всех оболочках Земли и выявлен во всех без исключения индексах, отражающих влияние космо- и геофизических факторов на гидрометеорологический режим. Его значимость в различных показателях варьирует в значительных пределах – от 1 % (число дней с циклонами в 8-ом районе Вительса, многолетние колебания стока рек горно-таежной зоны) до 43 % в смещении центра исландского минимума давления по широте. Значительный вклад в  $D_{общ}$  солнечнообусловленная составляющая вносит в многолетние колебания индексов засушливости и стока рек лесостепной и степной зон (от 3 до 9 %). Из этого можно сделать вывод, что полубрикнеровский 15-летний ритм составляет исключение из 17-и рассматриваемых индексов. Он обнаружен не во всех показателях – в тропосферноэффективных индексах (3 % от  $D_{общ}$ ), что говорит о его солнечной обусловленности, и в индексах засушливости на АТР (от 4 до 6 %). Наибольшую значимость 15-летний ритм имеет в многолетних колебаниях стока рек трех природных зон бассейна р. Тобол. При этом согласно ранее проведенным исследованиям, (Рассказова, 1999) в бассейне Тобола 15-летний ритм наиболее характерен для рек с полизональным режимом (Тобол, Тура, Уй), притоки которых расположены в разных природных зонах. Максимальной величины оценка дисперсии достигает в стоке рек лесостепной зоны – 14 %. Там же обнаружен и полный брикнеровский ритм длительностью 28 лет (10 %).

17–19-летние ритмы, обусловленные приливообразующей силой Луны и Солнца (Максимов и др., 1995) преобладают в гидросфере. Максимальных значений оценка дисперсии этого ритма достигает в аномалиях температуры воды в океане (5÷12 %), в многолетних колебаниях стока рек трех природных зон (9÷20 %), затем в тропосферноэффективных индексах солнечной активности (4 %), что свидетельствует о космическом происхождении этого цикла и, наконец, в индексах *NAO* и *SOI* (не более 2 %).

Полный 80-летний солнечный ритм встречается в рядах имеющих длину реализации более 100 лет, например: в числах Вольфа, индексах *NAO* и *SOI*, но достоверность их мала, так как для выявления данного ритма необходимы ряды длительностью 250 лет и более.

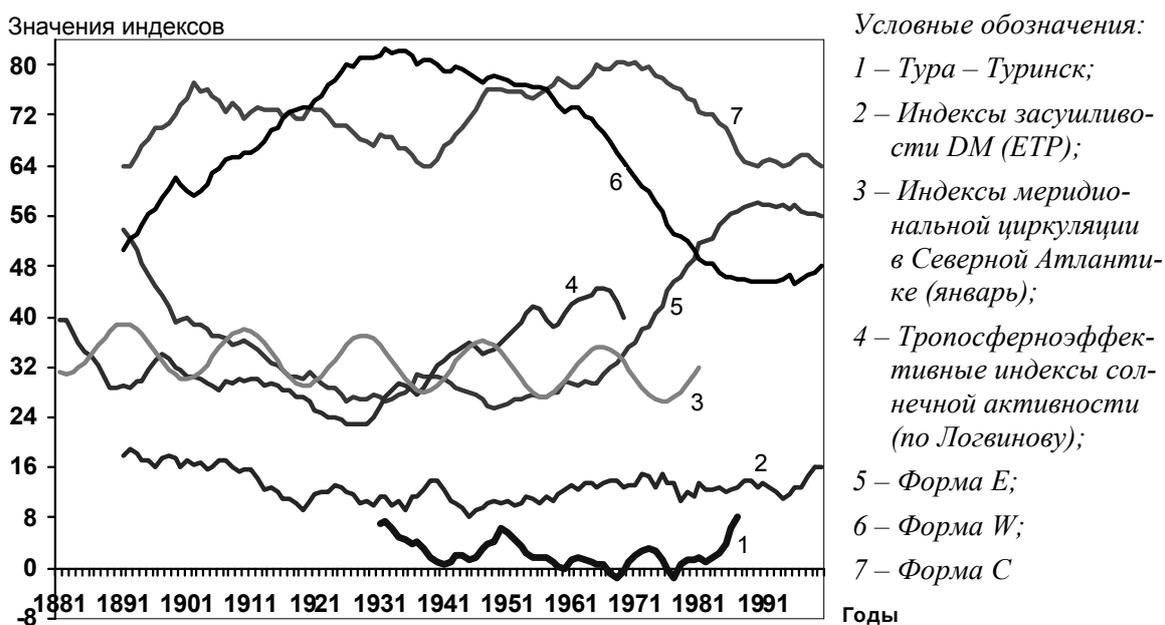
Сравнение состава гармонических составляющих многолетних колебаний стока рек Тобольского бассейна с временной структурой многолетних колебаний индексов, отражающих влияние космо- и геофизических факторов на гидрометеорологический режим (прежде всего индексов солнечной активности) показало их идентичность. Это означает, что все ритмы являются отражением солнечных ритмов и имеют космическое происхождение.

Относительно природы различных циклов до сих пор в научной литературе имеются весьма противоречивые гипотезы. Основным аргументом

наличия связи внешних факторов с колебаниями гидрометеорологических элементов обычно считается совпадением продолжительности циклов отдельных составляющих. Такой подход является односторонним и недостаточен для утверждения реальности и раскрытия сущности этих связей. Поэтому исследования проводились в двух аспектах – временном и пространственном. Ниже излагаются результаты исследований по первому аспекту.

*Исследование связи многолетних колебаний стока рек различных природных зон бассейна р. Тобол с некоторыми космо- и геофизическими факторами проводилось при помощи метода нормированных разностных интегральных кривых (образец на рис. 3.14).*

Утолщенной линией на графиках выделены кривые многолетних колебаний стока рек. Из рисунков видно, что максимальное значение стока рек лесной и лесостепной зон очень хорошо совпадают с максимальными значениями индексов меридиональной циркуляции в северной Атлантике, которые находятся в противофазе с тропосферноэффективными индексами солнечной активности.



*Рис. 3.14. Разностные интегральные кривые космо- и геофизических факторов и р. Тобол (лесная равнинная зона)*

В результате исследований связи многолетних колебаний годового стока рек с космо- и геофизическими факторами методом разностных интегральных кривых был проверен и закреплен ряд научных положений:

1) многолетние колебания речного стока инертны по отношению космо- и геофизическим факторам. Запаздывание многолетних колебаний стока происходит относительно: максимумов солнечной активности, крупномасштабных атмосферных процессов, а также процессов,

являющихся их следствием – увлажнения подстилающей поверхности и индексов атмосферной засушливости;

2) максимальные значения многолетних колебаний стока рек лесной и лесостепной зон Тобольского бассейна хорошо совпадают с максимальными значениями индексов меридиональной циркуляции в северной Атлантике. Максимальное значение стока рек лесной зоны и максимум повторяемости меридиональной формы атмосферной циркуляции запаздывают относительно минимума солнечной активности (приблизительно на 3 года);

3) связь многолетних колебаний речного стока с космо- и геофизическими факторами имеет следующий механизм: активность Солнца является рычагом, приводящим в движение атмосферу Земли (возникают области высокого и низкого давления). Они деформируют поверхность океана, в результате чего в океане возникают течения. Их перемещение приводит к изменению увлажнения подстилающей поверхности и колебаниям водности рек;

4) многолетние колебания годового стока рек больше всего зависят от увлажнения подстилающей поверхности и, через сложный механизм взаимодействия, от космо- и геофизических факторов. Этот вывод сам по себе не является новым, но данное исследование позволило установить конкретные сроки запаздывания наземных природных процессов относительно космических для исследуемого бассейна.

Таким образом, исследование временной структуры многолетних колебаний стока рек бассейна р. Тобол, испытание рядов на тренд, выявление внутривековых ритмов позволило сделать следующие выводы:

I. в результате испытания рядов на тренд установлено наличие различных по знаку длительных тенденций в многолетнем ходе стока рек разных природных зон:

1) для рек лесной и лесостепной зон рассматриваемой территории выявлено наличие слабовосходящего тренда, причем для рек горнотаежной зоны Зауралья восходящий тренд выражен более отчетливо;

2) в стоке рек степной зоны Тобольского бассейна обнаружен слабый нисходящий тренд;

3) для рек, расположенных вблизи границ различных природных зон присутствие тренда не обнаружено. Для выявления причин необходимы дальнейшие исследования.

II. В результате выявления внутривековых ритмов установлены ритмы наиболее распространенные на территории бассейна р. Тобол, а также особенности их распределения (с севера на юг и с запада на восток):

1) ведущими гармониками (ритмами) в многолетних колебаниях стока рек бассейна р. Тобол в порядке убывания их длительности являются: 17–19, 11–14, 5–8, 2–4-летние ритмы;

2) на территории водосборной площади Тобольского бассейна имеет место локализация определенных циклов. Это говорит о значительном влиянии на сток рек зональных факторов «формирующих» их временную структуру;

3) наиболее распространенным и имеющим наибольшую значимость в стоке рек рассматриваемой территории является 17–19-летний ритм. Исключение составляет группа постов, расположенных в районе критических параллелей Стоваса, где 2–4-летний ритм является более значимым;

4) значимость 11-летнего ритма нарастает при продвижении с севера на юг, достигая максимума на территории горно-таежной зоны, южнее критической параллели Стоваса. При этом его продолжительность в горно-таежной зоне, по сравнению с другими природными зонами наименьшая – 11 лет, против 13–14 лет;

5) в районе критических параллелей, его значимость 11-летнего ритма в многолетних колебаниях стока рек значительно меньше, чем у других рек (менее 1 %).

6) примерно одинаковой повторяемостью на всей территории и наибольшей частотой в многолетней ритмике стока рек бассейна Тобола обладает ритм «полюсного прилива» продолжительностью 5–8-лет, который рассматривается исследователями как результат воздействия на океан и атмосферу силы деформации, возникающей вследствие свободных колебаний оси вращения Земли. С влиянием силы деформации на подвижные оболочки планеты связаны колебания уровня океана, динамика основных океанических течений, изменение гидрологического режима рек;

7) анализ распространения квазидвухлетнего цикла стратосферных ветров по территории Тобольского бассейна подтвердил выводы Н.П. Смирнова и О.Ф. Кондрацовой (1974), что он наиболее четко проявляется в стоке рек Оби (Тобольский бассейн без Иртыша). Дальнейшие исследования, выполненные автором показали, что *2–4-летние ритмы* встречаются повсеместно, но наиболее ярко они выражены в гидрометеорологических характеристиках в районе критических параллелей Стоваса. Квазидвухлетние ритмы (2–4 года) в данном районе имеют наибольшую значимость и частоту повторяемости по сравнению с другими районами. Это связано по-нашему мнению с тем, что вблизи критических параллелей Стоваса располагаются основные центры действия атмосферы, что приводит к преобладанию в данном районе зонального переноса воздушных масс (критические параллели Стоваса являются параллелями зонального расчленения атмосферы, т. е. своеобразными «воротами» для проникновения стратосферных ветров);

8) в Тобольском бассейне 15-летняя ритмичность присуща только рекам с полизональным режимом (Рассказова, 1999).

Совместный анализ результатов картографирования ведущих ритмов продолжительностью 17–19, 11–14, 7–8 и 2–4 года и распределения их параметров (амплитуд и фаз) по территории Тобольского бассейна позволил обобщить результаты исследований и выделить районы, различающиеся продолжительностью гармоник, распределением и знаками фазовых углов.

Сумма перечисленных, наиболее значимых циклических составляющих определяет от 50 до 80 % общей амплитуды многолетнего колебания стока рек. Поэтому установление природы ритмов, выявление возможностей использования результатов исследования ритмической и трендовой составляющих представляет существенный научный и практический интерес.

III. В результате исследований также были проверены и закреплены ряд научных гипотез и положений:

1) солнечная активность приводит к ослаблению барических центров действия атмосферы, то есть в природе действует не закон акцентации, а закон ослабления барических образований;

2) усиление солнечной активности в 11-летнем цикле возмущает зональный тип атмосферной циркуляции (W) и создает условия для развития меридиональных процессов (C), в повторяемости которых отражается ритмика Солнца. Возмущения на Солнце приводят к возмущениям в атмосфере Земли: барические депрессии заполняются, максимальные давления ослабевают, усиливается C – перенос;

3) значительная часть многолетней изменчивости процессов, протекающих в атмосфере и океане Земли, складывается под совокупным воздействием приливообразующей силы Луны и Солнца долгого периода, изменений солнечной активности и силы деформации, возникающей в результате нутации земных полюсов и неравномерности вращения Земли;

4) многолетние колебания речного стока инертны по отношению космо- и геофизическим факторам. Запаздывание максимумов многолетних колебаний стока происходит относительно максимумов солнечной активности, крупномасштабных атмосферных процессов, а также процессов, являющихся их следствием: увлажнением подстилающей поверхности и индексов атмосферной засушливости;

5) связь многолетних колебаний речного стока с космо- и геофизическими факторами имеет следующий механизм: активность Солнца является рычагом, приводящим в движение атмосферу Земли (возникают области высокого и низкого давления). Они деформируют поверхность океана, в результате чего в океане возникают течения. Их перемещение приводит к изменению увлажнения подстилающей поверхности и колебаниям водности рек.

## **ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **4.1. Краткая характеристика природных условий Челябинской области**

На формирование сезонного стока, его изменчивость во времени и в пространстве оказывает влияние целый комплекс физико-географических факторов. К числу важнейших из них относятся климатические (особенности атмосферной циркуляции, количество выпавших осадков, испарения и др.). Основную роль в распределении по территории атмосферных осадков, а, следовательно, и стока, имеют природная зональность климата и рельеф. Влияние других факторов (геологическое строение, заозерность, залесенность и т. д.) выражено слабее. Иногда, при определенных условиях, например, в районах развития карста, геологическое строение территории приобретает решающее влияние на гидрологический режим. Влияние различных факторов на сезонный сток проявляется по территории не одинаково (Андреянов, 1960; Владимиров, 1990). Поэтому необходимо рассмотреть особенности природных условий исследуемой территории.

Челябинская область занимает часть Зауральской равнины, Западно-Сибирской низменности и восточный склон Южного Урала, лишь небольшая часть области, составляющая  $\frac{1}{4}$  от общей площади, на северо-западе заходит на западный склон Южного Урала. Она расположена между  $51^{\circ}57'$  до  $56^{\circ}22'$  с.ш.,  $57^{\circ}05'$  до  $63^{\circ}25'$  в.д. Территория области простирается с севера на юг – 490 км, с запада на восток 400 км и занимает площадь 88,5 тыс. км<sup>2</sup> или 1,9 % площади России. Челябинская область граничит на западе с республикой Башкортостан, на юге с Оренбургской областью, на севере со Свердловской областью, на востоке с Курганской областью на юго-востоке с Республикой Казахстан (Природа ..., 2001).

Рассматриваемая территория имеет свои геологические, орографические и климатические особенности. По характеру поверхности и абсолютной высоте можно выделить горную, предгорную и равнинную части.

Характерной особенностью геологического строения территории Челябинской области является меридиональная направленность основных тектонических структур и разделяющих их крупных глубинных разломов. В горной части формы рельефа совпадают с геологическими

структурами, где хребты приурочены к антиклинальным структурам, а понижение между ними – к синклиналим (рис. 4.1).

Складчатые сооружения Южного Урала на территории Челябинской области отделены от Русской платформы системой впадин Предуральского краевого прогиба, заполненных пермскими отложениями, среди которых распространены известняки, песчаники и т. д.

Наиболее высокую горную полосу Южного Урала образуют Центрально-Уральский антиклинорий, который сложен протерозойскими и ниже палеозойскими метаморфическими породами – кварцитами, гнейсами, амфиболитами. Антиклинальные поднятия разделены геосинклинальными прогибами. Области поднятий сложены, в основном, докембрийскими породами. В районах погружений развиты, как правило, палеозойские осадочные и вулканические отложения.

Между Центральным-Уральским антиклинорием и восточной окраиной Предуральского прогиба приурочены структуры западной зоны складчатости сложенной в основном палеозойскими породами (известняки, доломиты).

Глубинный разлом, расположенный между Центральным-Уральским антиклинорием и полосой синклинориев на востоке, имеют развитую цепь интрузий ультраосновных и габброидных пород.

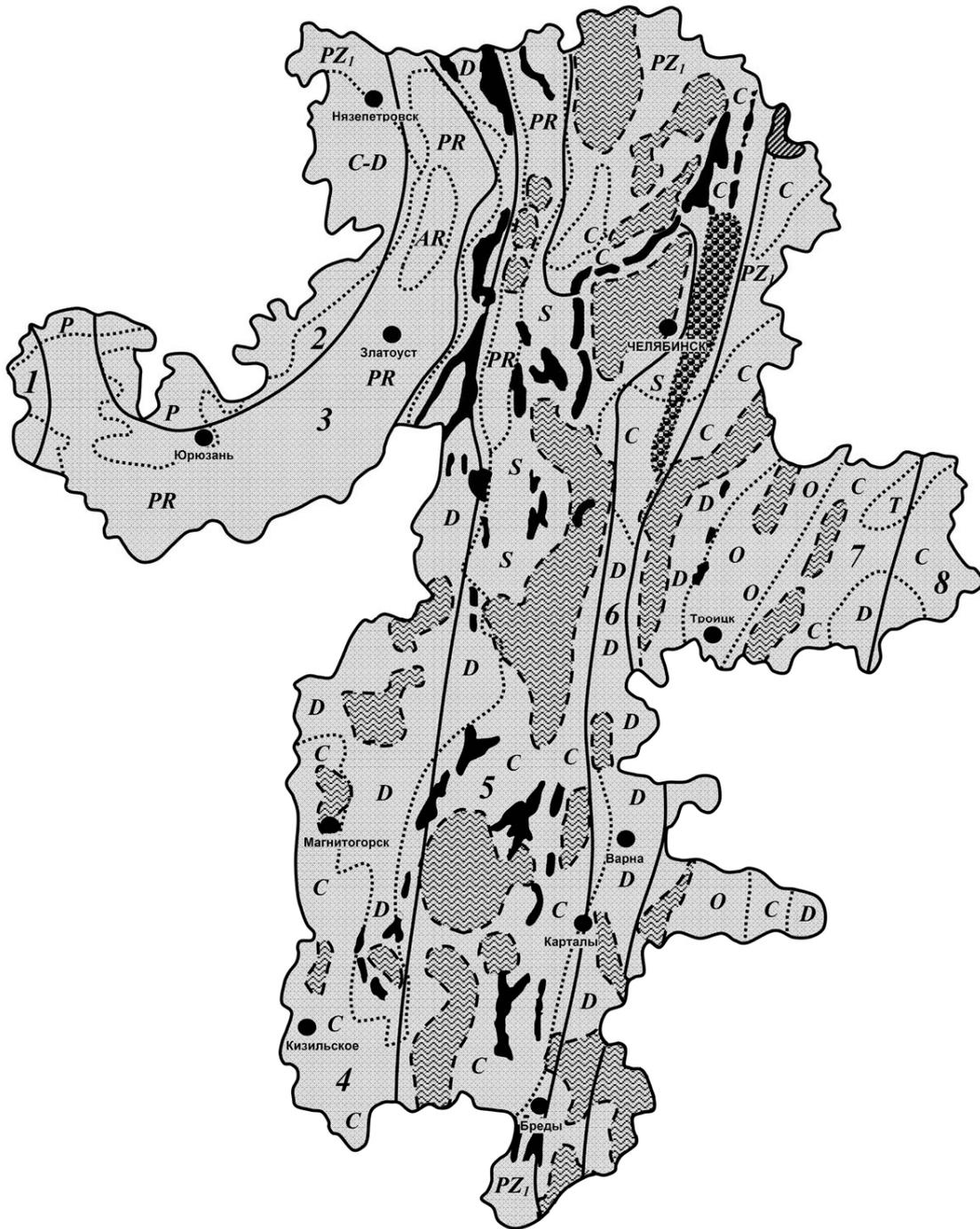
Восточный склон Южного Урала соответствует Магнитогорскому синклинорию. Эта зона сложена осадочными и вулканогенными породами.

В зоне Урало-Тобольского водораздела находится Урало-Тобольский антиклинорий, который отражает восточный склон Южного Урала. Он сложен сланцевыми и вулканогенными породами палеозоя и протерозоя.

Восточно-Уральский синклинорий, на востоке погружается под осадочную толщу мезозойско-кайнозойских пород. В прогибе палеозойские отложения прорваны магматическими породами (Природа ..., 2001).

К востоку от Восточно-Уральского прогиба палеозойские складчатые структуры расположены под мезо-кайнозойскими отложениями, которые представлены морскими и континентальными песчано-глинистыми породами.

Рассматриваемая территория сложена различными горными породами, которые отличаются не одинаковыми водными свойствами, что оказывает воздействие на сток рек. Эти свойства определяются, прежде всего, трещиноватостью этих пород, а также их происхождением и минералогическим составом. Помимо этого, немаловажное значение имеет чередование слоев горных пород различной водопроницаемости и их наклон. Для горных районов характерны различные по геологическому строению участки, где наблюдается сложный вертикальный водообмен между протекающими на данной территории реками и горными породами, слагающими их русла (Комлев, 2002).



Условные обозначения (приводятся в тексте):

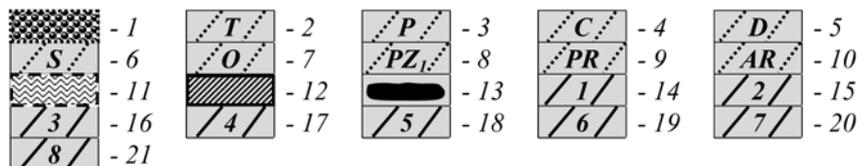


Рис. 4.1. Схема геологического строения Челябинской области (Природа ... , 2001)

1. *Триасовая и юрская системы. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, залежи углей;*
2. *Триасовая система. Угленосные отложения: аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты, пласты и линзы углей;*
3. *Пермская система. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, известняки;*
4. *Каменноугольная система, нижний отдел. Известняки, угленосная толща, эффузивы основного состава, среднего и кислого;*
5. *Девонская система. Известняки, доломиты, песчаники, кремнистые и глинистые сланцы, эффузивы основного, среднего и кислого состава;*
6. *Силурийская система. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, известняки, эффузивы основного и среднего состава, зеленые сланцы, мраморы, кварциты и гнейсы;*
7. *Ордовикская система. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, конгломераты, известняки, эффузивы основного состава, кварциты, филлиты, мраморизованные известняки;*
8. *Раннепалеозойская группа. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы, гравелиты, конгломераты;*
9. *Протерозойская группа. Песчаники, конгломераты, глинистые сланцы, известняки, доломиты, эффузивы основного состава, филлиты, амфиболиты, зеленые сланцы, кварциты, гранито-гнейсы;*
10. *Архейская группа. Гнейсы, кварциты, железистые кварциты, очковые гнейсы, кристаллические сланцы;*
11. *Интрузии (или группа близких интрузий) кислого и среднего состава;*
12. *Интрузии основного состава;*
13. *Ультраосновные породы. Тектонические структуры верхней части земной коры;*
14. *Предуральский прогиб;*
15. *Внешняя зона складчатости;*
16. *Центрально-Уральское поднятие;*
17. *Магнитогорский прогиб;*
18. *Восточно-Уральское поднятие;*
19. *Восточно-Уральский прогиб;*
20. *Зауральское поднятие;*
21. *Тюменско-Кустанайский прогиб.*

Исходя из геологического строения территории Челябинской области следует, что карстующиеся породы, оказывают воздействие на формирование режима рек, получают развитие особенно в Предуралье, чем в Зауралье. Среди которых наиболее распространены известняки, доломиты, мраморы, известняковые песчаники, известняково-глинистые сланцы, образующие складки синклиналей и антиклиналей. Эти породы, в основном, разорваны тектоническими разломами, трещинами и обычно залегают в отдельных понижениях, образуя узкие меридиональные полосы. Усиление карста наблюдается и в местах пересечения карстующихся пород широтно-текущими реками (Шелковская, 1983).

Роль карста в гидрологическом режиме рек существенна, особенно для рек с малыми площадями водосбора (менее 500 км<sup>2</sup>). Установлено, что под его влиянием происходит перераспределение стока между геолого-тектоническими зонами. (Балков, 1964).

Таким образом, карстовые формы рельефа являются одной из главных причин перевода поверхностных вод в подземные, обуславливая тем самым, изменение гидрологического режима. Развитие карста способствует снижению величин стока в весенний период, а в летний и зимний периоды наоборот их повышению. Так наличие карстующихся пород на рассматриваемой территории, сказалось, особенно, при исследовании зимнего стока, когда влияние данного фактора существенно.

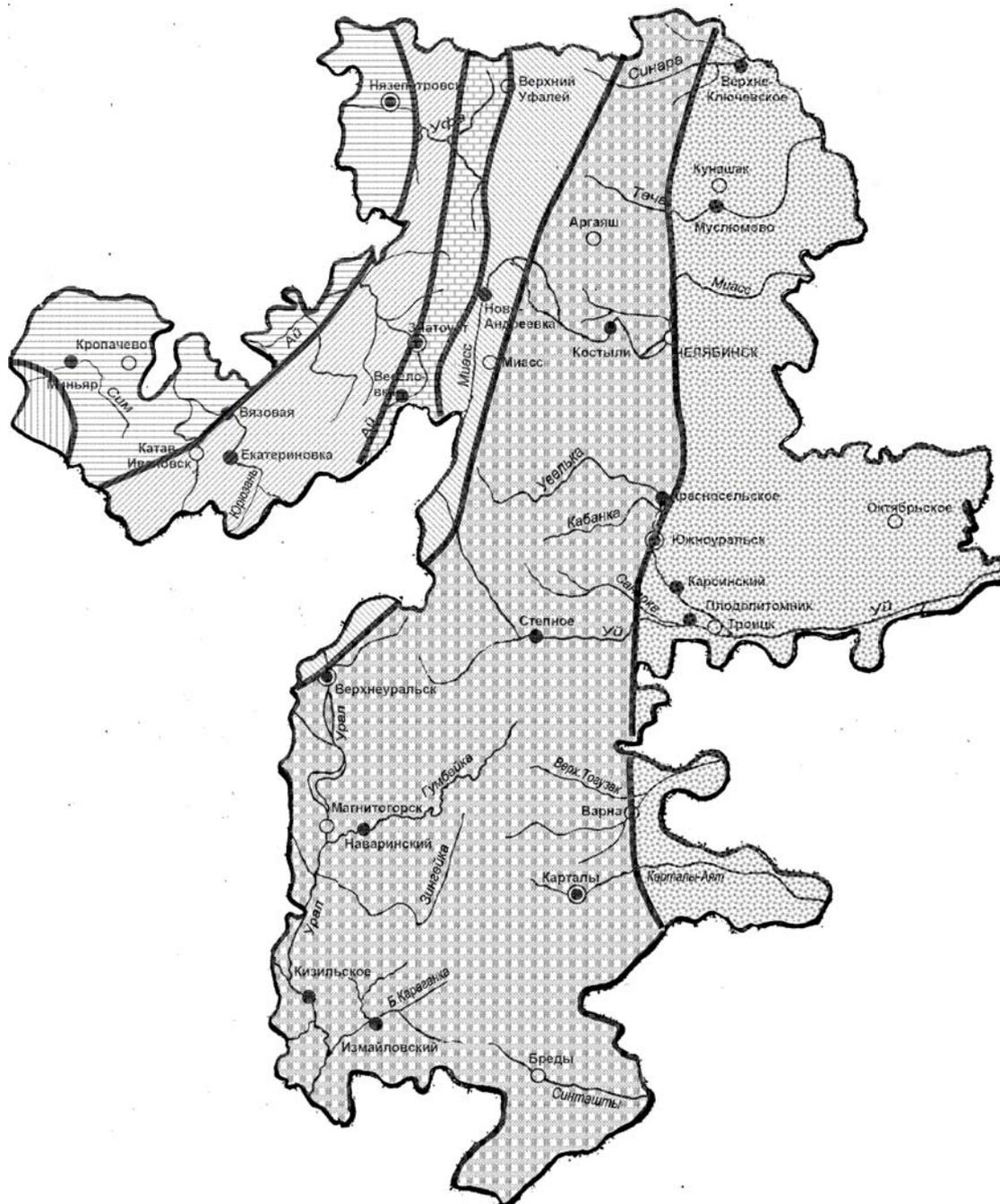
Необходимо отметить, что для изучения многолетних сезонных колебаний использовались реки с площадями водосбора не менее 500 км<sup>2</sup>. Поэтому влиянием карста на изменение стока рек можно пренебречь (Балков, 1970).

В плане орографии область отличается сложным строением. Уральская горная система состоит из многочисленных гряд и хребтов средней величины (1,0–1,5 тыс. м). Основными морфоструктурными формами рельефа являются хребты, горные массивы и плато с останками древних поверхностей выравнивания. Большую роль в формировании современного рельефа сыграли новейшие тектонические движения, об этом свидетельствуют глубокие и резко выраженные речные долины. Интенсивные поднятия неоген-четвертичного периода привели к глубокому врезанию речных долин в горные породы.

Уральские горные хребты имеют четко выраженную меридиональную направленность (рис. 4.2). Наиболее высокая полоса начинается на юге, которая прорезана горными реками, принадлежащими к бассейну Юрюзани. Особенности орографии сказываются на речной сети. В горном Предуралье она имеет ярко выраженный характер: продольные долины горных рек хорошо разработаны и достаточно широкие, а их поперечные участки, пересекающие горные хребты, глубокие и каньонообразные. Такие реки отличаются порожистыми руслами и быстрым течением. Существующий водораздел между бассейнами Камы (р. Белой и Тобола) проходит не по наиболее высокой полосе, а оказывается смещенным к востоку. Поэтому некоторые реки Предуралья имеют свои истоки на восточном склоне Урала. Водораздел проходит по высоким точкам Уральских гор: Урал-Тау, Уфалейского хребта.

Для предгорной зоны области характерна асимметричность склонов. В отличие от восточного, западный склон плавно переходит в Симскую долину. Рельеф при этом сглаживается. Восточные горные хребты состоят из отдельных сглаженных вершин и сопок, а речные долины

становятся более глубокими и резко выраженными. В этом районе большое распространение имеют карстовые формы рельефа, которые формируют временные водотоки и уменьшают поверхностный сток.



Условные обозначения:

- ▨ – зона Предуралья; ▩ – зона Западных низких предгорий Урала;
- ▧ – зона западных высоких предгорий; ▦ – водораздельная зона;
- ▥ – зона восточных предгорий; ▤ – зона Зауральского пенеплена;
- ▣ – зона Западно-Сибирской низменности

Рис. 4.2. Районирование рельефа Челябинской области (Природа ..., 2001)

Восточный склон Урала плавно переходит в Зауральскую равнину. Здесь гряды гор становятся небольшими и вытянутыми. Их высота понижается с юга на север. Рельеф приобретает грядово-холмистую форму. Речные долины не имеют глубокого вреза, а речная сеть имеет широтное направление.

На равнинное Зауралье приходится 80 % площади Челябинской области. Поверхность Зауральской равнины слабо наклонена на восток. Рельеф изменяется от увалисто-холмистого на западе, до плоской, слегка приподнятой равнины на востоке. Небольшие возвышенности приурочены к Урало-Тобольскому водоразделу. В районах с всхолмленным рельефом речные долины имеют четкую выраженность. К востоку и северу от Урало-Тобольского водораздела рельеф выравнивается и понижается. Речные долины становятся широкими и плоскими. Большое распространение на Зауральской равнине имеют карстовые формы рельефа. Закарстованность территории не способствует развитию речной сети, так как часть поверхностного стока поглощается и переходит в подземный.

В восточной части области располагается Западно-Сибирская низменность, где реки не многочисленны и имеют равнинный характер. Их русла слабо врезаны, берега низкие, течение медленное. Многочисленность озер и болот территории оказывают воздействие на гидрологический режим протекающих здесь рек. Под влиянием озер увеличивается внутригодовая зарегулированность стока, а большое количество болот приводит к некоторому выравниванию стока и снижению зимнего стока (Ресурсы поверхностных вод ..., 1973).

Таким образом, сравнивая рельеф области с геологическим строением, следует заметить, что горная часть соответствует в основном Центрально-Уральскому поднятию, где наиболее высокие хребты и вершины сложены протерозойскими породами (кварцитами, гнейсами, кристаллическими сланцами) устойчивыми к разрушению и выветриванию. Более низкие горы на северо-западе области, на севере Магнитогорского синклинория и Восточно-Уральского поднятия состоят из метаморфизированных интрузивных и эффузивных пород, известняков способствующих развитию карстовых явлений.

Различия в геологическом строении и характером рельефа Предуралья и Зауралья отражаются на форме и размерах речных долин. Долины, в свою очередь, оказывают влияние на режим рек внутри года: на широких поймах равнинных рек весенние воды временно задерживаются и стекают с опозданием. В результате подъем половодья замедляется.

Значительное влияние на условия формирования рек и их гидрологический режим оказывает климат. Положение рассматриваемой территории в центре материка Евразии определяет резко континентальный

характер ее климата. Исследуемая территория подвержена значительному влиянию воздействия западных воздушных масс, приходящих с Атлантического океана. Но удаленность территории области приводит к трансформации морского воздуха и усилению континентальности климата. Континентальные воздушные массы являются господствующими, они формируются за счёт трансформации атлантического и арктического воздуха. С ними связаны основные типы погоды в области.

Многообразие климата на рассматриваемой территории вызвано характером циркуляционных условий его формирования. Западный перенос сочетается с циклонической и антициклонической деятельностью. На Урале наибольшую повторяемость имеют циклоны и антициклоны северо-западных и западных направлений. С антициклонами и циклонами выносятся морской и континентальный воздух умеренных и полярных широт, прогретый летом и охлаждённый зимой под влиянием подстилающей поверхности. Активизация циклонической циркуляции и преобладание западного переноса приводит к теплым зимам, а ослабление циклонической деятельности и западного переноса, напротив, к суровым зимам.

Представляя естественный барьер, Уральские горы затрудняют поступление западных воздушных масс в пределы Зауралья и создают благоприятные условия для выпадения осадков в Предуралье. В связи с этим в Предуралье выпадает осадков больше, чем в Зауралье (рис. 4.3).

Меридионально простирающиеся хребты Уральских гор и открытость Западно-Сибирской низменности в сторону Северного Ледовитого океана способствует частому вторжению арктического воздуха, вхождение которого вызывает понижение температуры в любой сезон года. Похолодание на территории бассейна также может быть связано с усилением западного отрога Азиатского антициклона, способствующего выносу холодного континентального воздуха из Западной Сибири.

В теплое полугодие большое влияние на формирование погоды оказывает Азорский субтропический максимум, который приводит к выносу с юга сухого и прогретого континентального воздуха и установлению жаркой и сухой погоды. Вторжение южных циклонов с Чёрного и Каспийского морей, вызывает резкие изменения погоды зимой и летом: обильные осадки, большие колебания температуры, сильные ветры. Характерной особенностью климата является его значительная межгодовая изменчивость приводящая, в свою очередь, к разнообразию гидрологического режима рек.

Количество выпадения сезонных атмосферных осадков отличается неравномерностью. Основная их доля приходится на теплый период (весенний и летне-осенний сезон), что составляет около 75 % от годовой

суммы. В весенний период (апрель-май) их доля не превышает 15 % годовой суммы в Предуралье и 17 % в Зауралье.

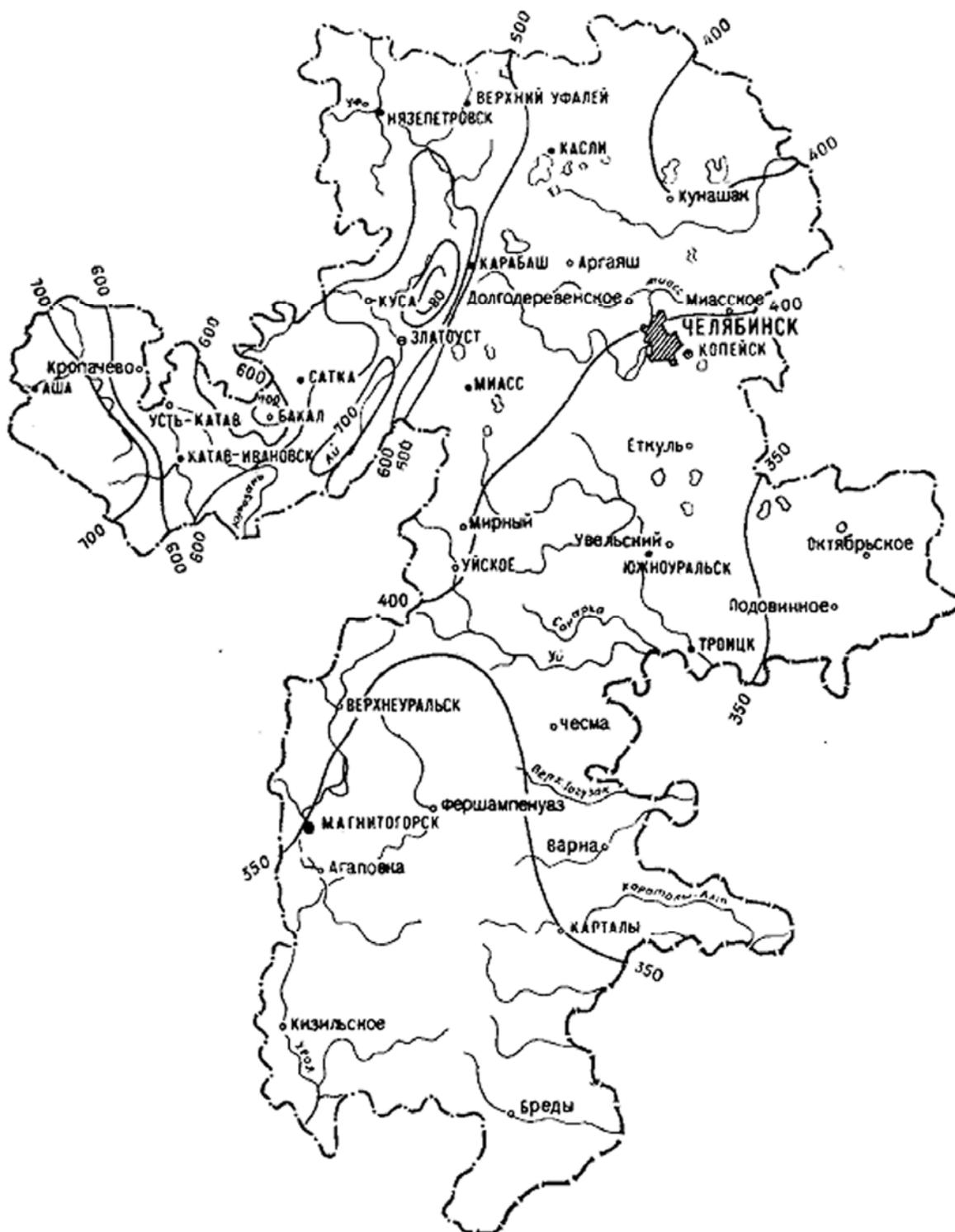


Рис. 4.3. Годовое количество осадков (мм) на территории Челябинской области (Румянцева, 1988)

Таблица 4.1

*Среднемноголетние осадки весеннего сезона*

Метеостанция	Кол-во осадков в месяц от года в %		Сумма осадков весеннего периода, мм	Кол-во весен осадков от годовой суммы, %	Сумма осадков теплого периода (IV-X), мм	Сумма осадков за год (XI-X), мм
	IV	V				
Аргаяш	5,2	10,0	61	15,2	328	404
Бреды	7,2	9,4	57	16,4	251	345
Варненский з/с	6,8	10,1	59	16,9	266	351
Верхнеуральск	5,7	9,5	54	15,2	281	358
Верхний Уфалей	5,5	8,8	76	14,3	405	527
Златоуст	5,4	9,1	97	14,6	500	666
Карталы	7,1	10,2	66	17,3	281	380
Катав-Ивановск	5,4	8,6	91	14,0	489	655
Кропачево	5,2	8,6	80	13,9	438	578
Магнитогорск	6,0	9,5	57	15,6	284	366
Миасс	5,5	9,8	64	14,9	345	429
Нязепетровск	4,9	8,1	73	13,1	409	560
Октябрьское	6,0	9,7	54	15,8	260	341
Челябинск	5,1	9,7	63	14,8	333	426
Южноуральск	5,9	9,7	63	15,5	311	403

На апрель приходится в среднем 4–5 %, а уже в мае их количество увеличивается вдвое и составляет 9–10 % (табл. 4.1).

Анализ таблицы показывает, что количество весенних осадков от годовой суммы уменьшается с северо-запада на юго-восток. Причем высокие их величины свойственны западным горно-лесным районам области. Основные причины такой неравномерности являются особенности климата и подстилающей поверхности.

Наибольшее количество месячных осадков во внутригодовом ходе выпадает в летне-осенний сезон. За июнь-октябрь приходится 60 % от годовой суммы. В первую половину лета осадков выпадает меньше, чем во вторую. Максимум приходится на июль (18,2 %). Осенью их количество сокращается (8,5 %). Уменьшение количества осадков, наблюдаемое в Зауралье, особенно в южных засушливых районах, связано с антициклонической деятельностью (табл. 4.2).

Анализ количества летних и осенних осадков показал, что большая их часть от годовой суммы приходится на летний сезон, причем эта основная доля свыше 80 % осадков теплого периода. Количество летне-осенних осадков уменьшается по мере сухости климата с северо-запада

на юго-восток. Главная причина такого распределения связана с особенностями атмосферной циркуляции.

Таблица 4.2

*Среднегодовое количество осадков летне-осеннего сезона*

Станция – пост	Кол-во осадков в месяц от года %					Сумма осадков летне-осеннего периода, мм	Кол-во летне-осенних осадков от годовой суммы, %	Сумма осадков теплого периода (IV-X), мм	Сумма осадков за год (XI-X), мм
	VI	VII	VIII	IX	X				
Аргаяш	14,5	20,1	13,9	9,9	7,5	266	66,0	328	404
Бреды	12,8	17,5	10,7	7,5	7,8	194	56,3	251	345
Варненский з/с	13,9	18,4	11,2	7,6	7,8	206	58,8	266	351
Верхнеуральск	14,9	19,9	13,1	8,8	6,5	226	63,2	281	358
Верхн. Уфалей	13,0	18,9	12,0	9,8	8,4	329	62,4	405	527
Златоуст	11,9	16,4	12,4	10,2	9,2	403	60,6	500	666
Карталы	12,6	17,5	11,4	7,3	8,0	216	56,7	281	380
Катав – Ивановск	13,4	16,2	12,2	9,3	9,6	398	60,8	489	655
Кропачево	12,9	16,0	11,4	11,0	10,2	357	61,8	438	578
Магнитогорск	13,7	19,7	12,2	8,4	7,4	226	61,8	284	366
Миасс	14,2	20,7	14,3	9,1	7,2	281	65,3	345	429
Нязепетровск	11,6	15,0	13,6	10,5	9,4	336	60,1	409	560
Октябрьское	13,4	16,9	12,2	9,0	8,6	206	60,3	260	341
Троицк	13,0	18,7	12,3	8,5	8,0	223	60,6	283	368
Челябинск	13,7	19,2	13,7	8,7	8,1	270	63,3	333	426
Южноуральск	13,1	19,6	12,3	8,3	7,9	182	45,2	311	403

Летом территория Урала подвержена влиянию трех центров действия атмосферы: Азорского антициклона, Исландского минимума и максимума над Северным Ледовитым океаном. Отрог Азорского антициклона действует на южную половину Русской равнины. Притекающие с запада, по северной периферии Азорского отрога воздушные массы формируются над Атлантическим океаном, трансформируются и доходят до Урала в виде сравнительно теплого и влажного материкового воздуха. В зонах контакта и взаимодействия этих воздушных масс с местными развивается циклоническая деятельность. Интенсивное поступление циклонов на территорию Урала происходит также в ложбине Исландского минимума. Большая масса летних осадков выпадает на

рассматриваемой территории под влиянием этих двух типов циклонической деятельности. Кроме того, некоторое значение имеют также внутримассовые конвективные осадки (Шкляев, 1964).

Таблица 4.3

*Среднегодовое количество осадков зимнего сезона*

Метеостанция	Кол-во осадков в месяц (в % от годовых)					Сумма осадков зимнего периода, мм	Кол-во зимних осадков (в % от годовой суммы)
	XI	XII	I	II	III		
Аргаяш	4,8	4,5	3,6	3,0	3,0	76	18,9
Бреды	6,3	5,9	5,2	4,7	4,9	94	27,3
Варненский з/с	6,0	5,4	4,7	4,3	3,7	85	24,3
Верхнеуральск	5,2	5,1	4,3	3,5	3,7	78	21,7
Верхн. Уфалей	6,3	5,3	4,3	3,5	3,8	123	23,2
Златоуст	6,9	5,5	4,6	3,6	4,2	165	24,8
Карталы	6,8	5,6	4,8	4,3	4,3	99	26,0
Катав – Ивановск	7,1	5,7	5,0	3,9	3,6	166	25,3
Кропачево	6,8	5,5	4,5	3,4	4,0	141	24,3
Магнитогорск	5,6	5,3	4,2	3,5	3,9	83	22,6
Миасс	5,4	4,3	3,7	2,9	3,3	85	19,8
Нязепетровск	7,5	6,3	5,2	4,0	3,8	150	26,9
Октябрьское	6,5	5,3	4,4	3,7	3,6	81	23,8
Троицк	6,1	5,3	4,4	3,8	3,7	85	23,2
Челябинск	5,6	5,3	4,2	3,5	3,4	93	21,9
Южноуральск	6,3	5,2	4,4	3,7	3,5	92	22,9

Доля осадков холодного сезона (ноябрь – март) составляет 20–25 % от годовой суммы. Максимум осадков приходится на начало зимы (ноябрь – декабрь) и составляет 10–12 % от годовой суммы (табл. 4.3).

Особенности распределения зимних осадков связаны с характером циркуляционных процессов. Зимой, на территории Азии образуется устойчивая область высокого давления – Сибирский антициклон (Алисов, 1974). Отрог этой области распространяется на южную половину ЕТС примерно до 50-й параллели и усиливается арктическими антициклонами, идущими с северо-запада и севера. В то же время над ЕТС, в том числе и Южном Урале, часто развивается циклоническая деятельность, наблюдаемая между периодами развития над материком – области высокого давления и вхождения арктического воздуха. Наиболее часто циклоны перемещаются с Атлантического океана и приносят теплые воздушные мас-

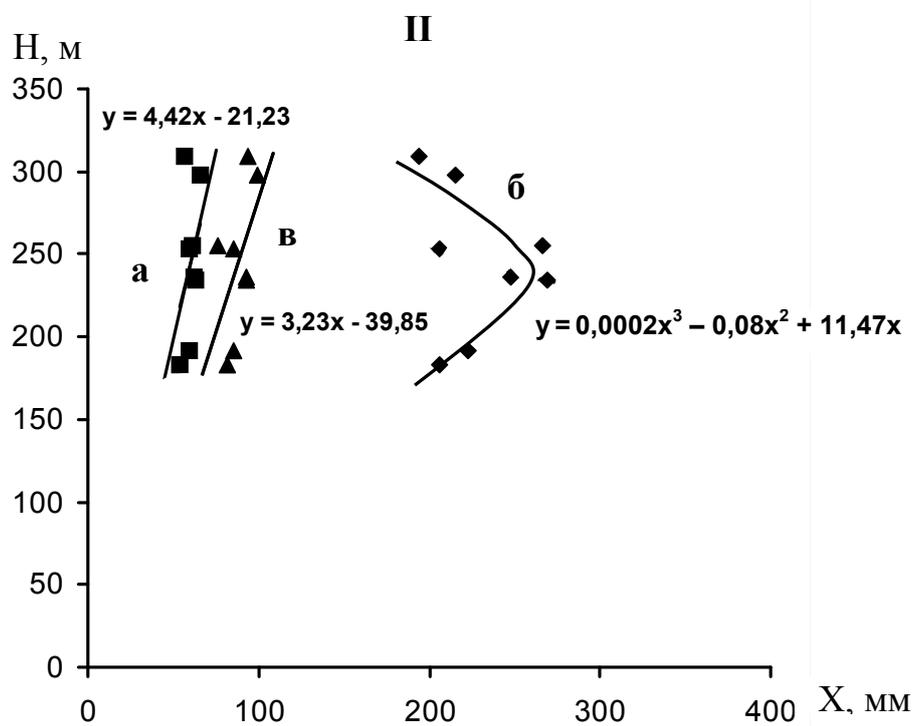
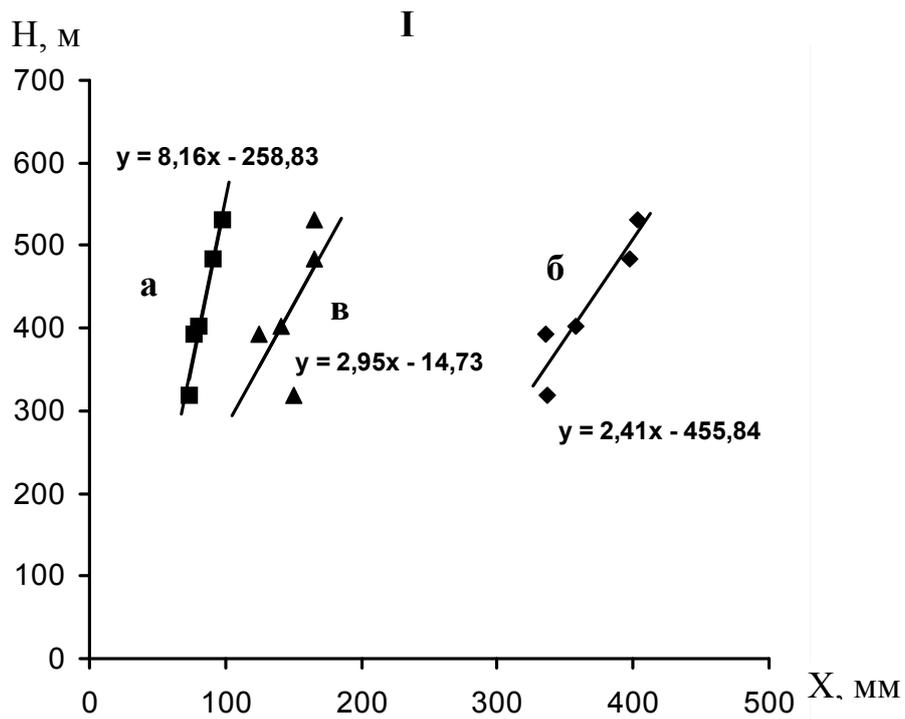
сы с большим влагосодержанием. Наблюдается также перемещение циклонов с юго- и северо-запада, из районов Черноморья и Арктики. Именно с развитием циклонической деятельности связана подавляющая часть осадков зимнего периода на Урале. Поэтому наибольшее количество зимних осадков выпадает в горной части, на западных склонах. В отдельные годы наблюдается уменьшение количества осадков, это объясняется усилением влияния западного отрога Азиатского барического максимума, а также уменьшением влагосодержания воздуха ввиду незначительного испарения зимой. Особенно убывают зимние осадки на юге области, где увеличивается повторяемость и устойчивость антициклонов.

Таким образом, воздействие западных воздушных масс более заметно в Предуралье, чем в Зауралье. Вызываемые горами изменения циркуляции атмосферы сопровождаются более частыми вторжениями холодного арктического воздуха в Зауралье. Горная система влияет на направление вторгающихся в пределы района воздушных масс, перемещающихся под небольшим углом к ней, и вынуждает их двигаться преимущественно вдоль восточного склона хребта (Строгина, 1962).

На воздушные потоки, обусловленные глобальной циркуляцией атмосферы, накладываются местные потоки, обусловленные свойствами подстилающей поверхности: изменение высоты в различных направлениях, изрезанностью рельефа, растительностью. Рельеф усиливает или ослабляет один из трех основных факторов осадков – восходящие движения воздуха (Жаков, 1966). Чем больше высота гор и возвышенностей, тем раньше начинает проявляться их влияние на осадкообразование. Так, влияние Уральских гор сказывается на расстоянии 75–100 км (Жаков, 1982).

Следует заметить, что Уральские горы нарушают постепенный переход от океанических влияний к континентальным, определяя уменьшение осадков к востоку от хребта. На распределение осадков влияют: пересеченный горный рельеф, различные невысокие хребты и увалы, склоны различной экспозиции, межгорные долины и котловины, которые создают на Урале разнообразие местных орографических условий.

Влияние рельефа на осадки оценивалось путем построения зависимостей между количеством сезонных осадков и высотой станций над уровнем моря (рис. 4.4). Анализ показывает, что на рассматриваемой территории наблюдается рост количества выпадения сезонных осадков с увеличением высоты. Нарастание осадков с высотой сильнее выражено в Предуралье в летне-осенний период. Исключением являются районы Зауралья, где происходит нарушение зависимости осадков от высоты, в летне-осенний период, где большое значение, наряду с орографическими особенностями территории, большое значение в распределении осадков оказывают климатические факторы.



*I – Предуралье, II – Зауралье*

*a – весенний период; б – летне-осенний период; в – зимний период*

*Рис. 4.4. Связь количества сезонных осадков ( $X$  мм) от высоты ( $H$ , м)*

Таким образом, особенности формирования и распределения осадков на территории области обусловлены совокупным воздействием атмосферной циркуляции и разнообразными местными орографическими условиями. Максимальное количество осадков наблюдается в июле, минимальное в феврале. Такая особенность существенно влияет на гидрологический режим рек области.

Важным климатическим фактором, определяющим формирование сезонного стока, является испарение, которое в свою очередь зависит от целого комплекса метеорологических условий и характера испаряющей поверхности. Наибольшая величина испарения приходится на летне-осенний период, так как в это время выпадает большее количество осадков, чем в зимний период. Влияние испарения осуществляется через увеличение потерь стока.

Степень влияния испарения на сток определяется характером увлажнения территории. Испарение меньше влияет на сток в областях повышенного увлажнения и становится определяющим в зоне недостаточного увлажнения, где на испарение расходуется большая часть атмосферных осадков.

Исследование Л.И. Зубенка (Шкляев, 1964) проводимое на территории Урала, показало, что испарение возрастает к западу и к востоку от Уральских гор. В горно-лесных и степных районах величина испарения достигает наименьших значений, в первом случае в связи с понижением температуры воздуха, а во втором – в результате уменьшения осадков. В соответствии с распределением испарения изменяются величины стока. Так на территории Челябинской области количество осадков уменьшается в юго-восточном направлении, а испарение возрастает, потери стока резко увеличиваются и уменьшение величины стока в этом направлении происходит более резко, чем уменьшение количества осадков. Поэтому влияние испарения на сток рек протекающих в южных районах области существенно.

На формирование стока оказывают влияние и другие физико-географические факторы, в том числе водные свойства почв и грунтов, лесистость, озерность, заболоченность и др. Эти факторы имеют относительно постоянный характер на исследуемой территории и являются дополняющими для основных – особенностей рельефа и метеорологических условий исследуемых районов.

В последнее время, в связи с высокими темпами развития производительных сил усиливается влияние антропогенного фактора на сезонный речной сток. В условиях хозяйственной деятельности особую роль в изменении сезонного стока играют: русловое регулирование, осушение, орошение, промышленно-коммунальное водоснабжение, агролесомелиорация и др. Некоторые факторы, оказывают более сильное воздействие,

чем другие. Например, в степной зоне зяблиевая пахота, практически прекращает поверхностный сток (Нестеренко, 2006, с. 145–148).

На крупных речных водосборах на гидрологический режим обычно оказывают влияние одновременно несколько факторов хозяйственной деятельности. Однако влияние на сток и гидрологический режим рек агролесомелиоративных мероприятий, промышленно-коммунального водоснабжения и некоторых других видов хозяйственной деятельности не выходит за пределы точности учета стока – 0,1–5 % (Веретенникова, 1982). Доминирующее влияние на сезонный сток оказывают водохранилища (Шикломанов, 1979; Веретенникова, 1982; Михайлов, Добровольский, 1991; Нестеренко, 2006).

Так, в зоне достаточного увлажнения, основное назначение водохранилищ состоит в перераспределении стока из многоводных периодов (весеннее половодье) в маловодные (летняя и зимняя межень). Поэтому в створах, расположенных ниже их, наблюдается выравнивание стока в году. В зоне недостаточного увлажнения, происходит незначительное увеличение стока в маловодный период в створах ниже водохранилища, чем его уменьшение в многоводный период. В данном случае потери на испарение значительно больше, чем в зоне достаточного увлажнения.

На территории Челябинской области находятся 377 водохранилищ и прудов различного назначения. Суммарный объем воды в них составляет около 3 км<sup>3</sup>. По речным бассейнам водохранилища распределяются следующим образом:

1. на горных реках Камского бассейна – 34 водохранилища: Симское, Миньярское, Златоустовское, Новозлатоустовское, Кусинское, Зюраткульское, Саткинское, Юрюзанское, Катав-Ивановское, Усть-Катавское и др.;
2. на реках бассейна Тобола – 368 водохранилищ: Троицкое, Южоральское, Аргазинское, Шершневское, Увельское, Брединское и др.;
3. на реке Урал и его притоках – 75 водохранилищ: Верхнеуральское, Магнитогорское и др.

Наиболее зарегулирован водохранилищами сток таких рек как р. Урал (Верхнеуральское и Магнитогорское водохранилища) и р. Миасс (Аргазинское и Шершневское водохранилища) Основные их характеристики представлены в табл. 4.4.

Исследования стока внутри года, проводимые Г.М. Веретенниковой (1982) на р. Урал показали, что малые емкости Верхнеуральского и Магнитогорского водохранилищ не значительно трансформируют сток.

Таким образом, речной сток определяется в первую очередь естественными природными процессами, но в современных условиях воз-

действие антропогенных факторов на водные ресурсы возрастает, однако малые емкости водохранилищ на территории области пока не значительно изменяют естественный режим сезонного стока рек. В будущем антропогенное влияние будет возрастать ускоренными темпами, особенно это касается территорий с недостаточным увлажнением.

Таблица 4.4

*Основные водохозяйственные показатели некоторых водохранилищ Челябинской области*

Река	Водохранилища	Площадь, км <sup>2</sup>	Полезный объем водохранилища, (млн м <sup>3</sup> )
Бассейн Камы			
р. Уфа	Долгобродское	35,2	333
Бассейн Тобола			
р. Миасс	Аргазинское	113	980
р. Миасс	Шершневское	176	39,1
Бассейн Урала			
р. Урал	Верхнеуральское	75,5	601
р. Урал	Магнитогорское	33,4	189

Челябинская область отличается природным разнообразием. Неоднородность геологического строения, рельефа и климатических особенностей обостряет контрастность природы отдельных районов. В связи с многообразием природных условий можно выделить 3 природных зоны.

*Горно-лесная зона* расположена на северо-западе Челябинской области, включает западную окраину Русской равнины, западные и восточные предгорья Южного Урала. Большое количество параллельных горных хребтов имеют северо-восточное направление, которые служат водоразделом рек Камского и Тобольского бассейнов. Разнообразие форм рельефа приводит к различию климатических условий. Климат слагается под воздействием циклонических вхождений атлантического воздуха с последующей его континентальностью. В связи с этим территория наиболее увлажнена, особенно наветренные склоны предгорий. Протекающие здесь реки относятся к Камскому бассейну (р. Ай, р. Юрюзань, р. Уфа, р. Сим).

*Лесо-степная зона* занимает северо-восточную и центральную части области с холмисто-увалистым и равнинным рельефом, пересеченный долинами рек р. Синара, р. Миасс, р. Уй, р. Увелька. Возрастающая континентальность климата влияет на уменьшение количества осадков по сравнению с Предуральем.

Южная часть исследуемой территории представляет *степную зону*, которая отличается орографическим разнообразием. На западе проходит узкая

полоса предгорий, а уже на востоке рельеф имеет равнинный характер. Климат этой зоны отличается резко выраженной континентальностью и характеризуется быстро возрастающей к югу засушливостью, поэтому фазы водного режима рек степного Зауралья, в отдельные маловодные годы, могут быть сдвинуты, в отличие от рек, протекающих в других зонах области. На территории проходит водораздел между бассейнами рек Урала (р. Гумбейка, р. Б. Караганка) и Тобола (р. Тогузак, р. Карталы-Аят, р. Синташты).

Таким образом, физико-географические условия формирования речного стока рек Челябинской области характеризуется разнообразием. Поэтому исследуемая территория интересна с точки зрения гидрологического режима рек, а, следовательно, и изучения многолетних колебаний сезонного стока рек.

#### **4.2. Обзор исследований сезонного стока рек**

С давних времен человек постепенно накапливал знания о реках. Однако они в основном носили описательный характер. Основное содержание добытых сведений было общегеографического и гидрографического направления. Все это способствовало познанию водных объектов лишь в обобщенном виде.

Первые сведения об Уральских реках появляются в начале IX века. К этому времени была издана географическая карта, на которой в приблизительном виде отображалась основная гидрографическая сеть Урала. Во второй половине XVIII века начались исследования рек Южного Урала по заданию Академии наук. Среди путешественников – географов следует отметить И.Г. Гмелина, П.И. Рычкова, П.С. Палласа и И.И. Лепихина (Архипова, 1966).

Исследования того времени были в основном экспедиционными и представляли собой богатый фактический материал. Научные труды носили описательный характер: ученые вели подробные ежедневные записи, публиковавшиеся в последствии в виде дневников. Работы путешественников сохранили научный интерес до настоящего времени.

В России при изучении гидрологического режима рек существенную роль в конце XIX века сыграли опубликованные сочинения выдающегося географа и климатолога А.И. Воейкова – доклад «Реки России» (Воейков, 1884а) и классический труд «Климаты земного шара, в особенности России» (Воейков, 1884б). В частности он рассматривал влияние на речной сток различных физико-географических факторов и подчеркивал огромную роль снежного покрова, тающего одновременно на больших пространствах, обуславливающего объем весеннего половодья. Также он рассматривал влияние дождей на сток рек. А.И. Воейков при-

шел к выводу, что сильные дожди обычно кратковременны и выпадают преимущественно на небольших территориях и притом значительная их часть задерживается почвой и испаряется. Поэтому на больших реках ливневые осадки не могут вызывать значительные паводки.

В работе «Климаты земного шара» А.И. Воейков (1884б) привел классификацию рек по климатическим факторам при учете гидрологических – основным фазам внутригодового режима (половодье и паводки, а также время их наступления). Уже в следующем труде «Реки и озера России» А.И. Воейков (1884а) рассматривал внутригодовой режим рек России в связи с установленной им классификацией. Исследуя годовой ход уровня воды на реках Европейской части России, он предложил делить их на три типа. Это деление послужило основой для ряда классификаций, предложенных другими авторами.

Крупный вклад в развитие учения о реках в начале XX века внес Е.А. Гейнц (1903). Рассматривая водность бассейна верховьев Оки и ее связь с осадками, он пришел к выводам, что в весеннее половодье стекает 75 % годового стока и, следовательно, количество снега определяет годовой расход. Из 40 % годового количества осадков, выпадающих летом, подавляющая часть просачивается в почву и испаряется, почти не отражаясь на стоке, который к концу лета достигает своего минимума. Осенние дожди, выпадающие при более низкой температуре, несколько увеличивают сток. В течение зимы реки питаются исключительно ключевыми водами. Также он полагал, что только 45 % всего запаса воды в снежном покрове поступает в реку поверхностным стоком, остальная часть пополняет подземные воды.

В труде Е.В. Оппокова (1914) впервые в русской литературе содержался обстоятельный анализ режима уровня и стока по годам за 32-летний период с 1876 по 1908 года. В своих исследованиях Е.В. Оппоков применил оригинальный метод, состоящий в том, что на совмещенных графиках отклонения от нормы, то есть многолетние средние высоты уровней или расходов воды, которые сопоставляются с соответствующими отклонениями атмосферных осадков и температуры воздуха в бассейне.

В результате исследований Е.В. Оппоков (1906, 1908, 1909, 1932) пришел к следующим утверждениям, что речной сток имеет многолетние ритмические колебания, синхронные колебаниям обуславливающих его атмосферных осадков в бассейнах рек. Он также установил, что высокие половодья в отдельные годы или даже группы лет, также как и маловодные (меженные) годы повторяются ритмически через большие или меньшие промежутки времени.

Э.М. Ольдекоп (1918) опубликовал фундаментальное исследование о зависимости режима рек от метеорологических факторов. Для сужде-

ния о тесной связи между стоком рек и атмосферными осадками автор широко пользовался методом корреляции. На основании исследований он пришел к выводу, что сток гидрологического года зависит от суммы осадков теплого периода, а сток зимнего полугодия обуславливается в основном грунтовым питанием.

Н.Н. Соколов (1922) осветил результаты работы, связанную с исследованиями водности реки Волги. По мнению автора, главную роль в формировании весеннего половодья играют снегозапасы, состояние почвы и характер весны. Он указывал, что летние осадки незначительно отражаются на стоке реки, а осенние осадки вызывают обычный паводок и создают запасы грунтовых вод, обеспечивающие зимнее питание реки.

Первой обобщающей работой по внутригодовому распределению стока рек на территории России, основывающейся на материалах стационарных наблюдений, являлась статья Д.И. Кочерина (1927), в которой он предложил классификацию рек по характеру внутригодового распределению стока.

Б.Д. Зайков (1933) указывал, что распределение водности в году на реках зависит от геологического строения территории, обуславливающее различную естественную зарегулированность стока в разных бассейнах.

М.И. Львович (1938, дополнил в 1945 г.) предложил классификацию рек по типам питания и характеру водного режима, отражающих условия формирования речного стока. В частности он выделил реки: снегового, дождевого, грунтового и ледникового питания. При этом М.И. Львович считал тип питания практически единственным (исключительным), если он составляет более 80 % в общем питании реки, или преимущественным, если от 80 % до 50 %, а при меньшей доле (менее 50 %) питание будет смешанным с преобладанием того типа питания, доля которого больше (но меньше 50 %). М.И. Львович составил карту типов рек по источникам питания.

Первой попыткой обобщения для территории Европы внутригодового стока являлась работа Б.Д. Зайкова (1944). Для его характеристики он применил не типовой гидрограф, а наиболее распространенные календарные характеристики. Считая, что такой прием приводит к наиболее правильному представлению о внутригодовом стоке. Б.Д. Зайков полагал целесообразным применять сезонную характеристику стока, принимая не обычные календарные сезоны, а такие сезоны, границы которых, приближаются к границам фазово-однородных периодов.

В следующей работе Б.Д. Зайков (1946) привел классификацию рек по типам водного режима в зависимости от его основных фаз и выделил при этом три группы: реки с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года, с паводочным режимом. Б.Д. Зайков отмечал, что основ-

ными факторами, определяющими ход стока, являются климатические (осадки, испарение), а внутригодовой ход изменения влаги в бассейне зависит от соответствующих изменений метеорологических элементов. Автор указывал, что большое влияние на внутригодовое распределение стока оказывают особенности геологического строения территории.

Классификацию Б.Д. Зайкова в дальнейшем детализировал П.С. Кузин (1960). На территории нашей страны он выделял также три типа рек: реки с половодьем (снеговое питание), с половодьем и паводками (снеговое и дождевое питание), с паводками (дождевое питание), а в каждом типе выявлял подтипы. Классификация П.С. Кузина учитывала происхождение фаз водности и время их появления.

Более детальные схемы для отдельных регионов, составленные с учетом влияния на внутригодовое распределение стока озерности, площади водосбора или его высоты (для горных районов), метеорологии, лесистости, заболоченности, закарстованности территории и других факторов были в свое время предложены Д.Л. Соколовским (1959), В.Д. Быковым (1963), Л.А. Владимировым (1964), А.Н. Важновым (1976) и другими исследователями. В этих схемах, как правило, учитывалась не вся совокупность указанных факторов, а лишь некоторые из них, являющиеся главными в изучаемых районах.

Основополагающими изысканиями являлись исследования В.Г. Андреянова (1953, 1957, 1960, 1966), где рассматривался внутригодовой режим речного стока, определяемый физико-географическими факторами. Для описания структуры внутригодового стока В.Г. Андреянов в качестве основного показателя его внутригодовых колебаний, применил коэффициент внутригодовой неравномерности стока, как дополнение к коэффициенту естественной зарегулированности. Выявив при этом ряд эмпирических зависимостей этих коэффициентов от площади водосборов и их частей, занятых озерами. Методика, предложенная В.Г. Андреяновым, до сих пор не потеряла своей актуальности и использовалась в работах Е.Г. Иванова (1980), в (Указаниях по определению расчетных гидрологических характеристик ..., 1972), в (Рекомендациях ..., 1975).

М.П. Колпачева (1968), исследовала многолетний внутригодовой режим стока и его ритмический характер, пришла к выводу, что он имеет ритмичность и что существует наличие синхронности в наступлении соответствующих фаз колебаний. Однако для отдельных лет и их групп эта синхронность нарушается. Кроме того, интенсивность этих колебаний различна и изменяется по-разному, что связано с водностью года.

П.С. Кузин и В.И. Бабкин (1979) рассматривали закономерности характера основных фаз водного режима рек во времени и в пространстве с учетом физико-географических факторов. Авторы предложили класси-

фикацию рек по водному режиму и произвели районирование рек страны с учетом гидрологических особенностей рассматриваемой территории. Кроме того, они уточнили понятия: половодье, паводок, межень.

В связи с бурным развитием хозяйственной деятельности появились исследования, связанные с изучением влияния человека на сток внутри года. Следует отметить авторов: А.Г. Соколова, М.А. Попову (1979), Г.М. Веретенникову, Е.А. Леонова (1982), Н.И. Лобанову, Т.Г. Пономареву (1986) и др. В работах исследователи утверждали, что сильное воздействие на изменение характера сезонного стока оказывают водохранилища.

В связи с активным внедрением ЭВМ появились новые направления в изучении гидрологии рек. Д.Я. Раткович, Л.Я. Иванова (1995) рассматривали стохастическую модель колебаний стока, на основе статистической зависимости между фазами водного режима. Выявленные вероятностные закономерности хода речного стока позволили более детально анализировать условное его распределение внутри года.

Начиная с 50-х годов XX века, было опубликовано множество трудов, посвященных вопросу сезонного стока рек горных территорий. Среди авторов следует отметить: Н.М. Алюшинскую (1955), В.Ш. Германишвили (1958), Л.А. Владимирова (1958, 1966, 1968), Л.В. Сидорову (1964, 1966), В.Д. Быкова и др. (1968, 1972, 1974), В.А. Стряпчего (1979), В.В. Степанову (1991) и др. Сезонный сток горных районов бывшего СССР и РФ в литературе освещен достаточно полно, в отличие от равнинных территорий.

Изучением сезонного стока на Урале занимались не много исследователей. Следует отметить работы: А.О. Кеммериха, В.Д. Быкова, М.А. Андреевой, И.С. Шахова, Т.П. Девятковой, А.М. Гареева, Е.Б. Соболевой.

Одной из первых работ по сезонному стоку рек Урала были исследования В.С. Баранова (1960), касающихся самого крупного притока верхней Камы – реки Вишеры. Автором было установлено, что основными периодами, в течение которых происходит формирование многоводных и маловодных лет, являются половодья и сток летне-осеннего периода. Сток в многоводные годы формируется за счет значительного накопления снегозапасов в зимний период и большого количества осадков в летне-осенний период, чем в маловодные годы.

В исследованиях А.О. Кеммериха (1961) приводилась характеристика сезонного стока рек Северного, Приполярного Урала. Автор считал, что наибольшее внимание на сток рек оказывает широта местности и высота бассейна над уровнем моря. В работе предлагалась классификация по некоторым рекам Урала.

Работы В.Д. Быкова (1963, 1978) посвящались закономерностям гидрологических характеристик стока рек Урала. Сезонный сток рас-

сма­тривался с учетом физи­ко-гео­гра­фических фак­то­ров. Из ре­зуль­та­тов его ис­сле­до­ва­ния сле­до­ва­ло, что ос­нов­ные ги­дро­ло­гические ос­обен­но­сти обу­слов­ле­ны ши­ротной зо­наль­но­стью и вы­сотной по­яс­но­стью. В.Д. Бы­ковым бы­ли вы­яв­ле­ны гра­ни­цы, сви­де­тель­ст­вую­щие о раз­ли­чиях в фор­ми­ро­ва­нии сто­ка на за­пад­ном и во­сточ­ном скло­нах Ура­ла.

Т.П. Де­вят­ко­ва (1968) оце­ни­ла воз­дей­ст­вие а­зо­наль­ных фак­то­ров на внут­ри­го­до­вой сто­к рек бас­сей­на Верх­ней Ка­мы и вы­яв­ли­ла за­ви­си­мость ве­сен­не­го и лет­не­го сто­ка от вы­со­ты мес­тно­сти и пло­ща­ди бас­сей­на. Ею ус­та­нов­ле­но, что в мно­го­вод­ные го­ды сто­к в зи­мний пе­ри­од у­мень­ша­ет­ся, а в лет­не-осен­ний уве­ли­чи­ва­ет­ся. В ма­ло­вод­ные го­ды про­ис­хо­дит не­бо­ль­шое уве­ли­че­ние сто­ка зи­мне­го пе­ри­ода и у­мень­ше­ние сто­ка лета-осени. На ос­но­ва­нии ис­сле­до­ва­ния, ав­то­ром бы­ло про­из­ве­де­но райо­ни­ро­ва­ние тер­ри­то­рии по внут­ри­го­до­во­му рас­пре­де­ле­нию сто­ка ис­сле­ду­е­мой тер­ри­то­рии.

Ис­сле­до­ва­нию мно­го­лет­них ко­ле­ба­ний се­зон­но­го сто­ка рек Пре­ду­ра­лья и его свя­зи с ти­па­ми ат­мо­с­фер­ной ци­рку­ля­ции Г.Я. Ван­ген­гей­ма бы­ла по­свя­ще­на ра­бо­та А.С. Шк­ля­ева (1969). Ис­хо­дя из ана­ли­за ко­ле­ба­ний в смеж­ные го­ды, ус­та­нов­ле­на ци­клич­ность в ко­ле­ба­ниях вод­но­сти се­зо­нов в за­ви­си­мо­сти от эпо­халь­но­сти в раз­ви­тии форм ци­рку­ля­ции.

Из ис­сле­до­ва­ний внут­ри­го­до­во­го сто­ка рек Юж­но­го Ура­ла М.А. Ан­д­рее­вой (1983) сле­до­ва­ло, что с ус­и­ле­ни­ем су­хо­сти кли­ма­та с се­веро­за­па­да на юго-во­сток пре­вы­ше­ние ве­сен­не­го сто­ка над ме­жен­ным уве­ли­чи­ва­ет­ся, а так­же воз­ра­стает из­мен­чи­вость вод­но­го ре­жи­ма рек. Ав­то­ром на ос­но­ве ве­ли­чин сто­ка и его ос­обен­но­стей рас­пре­де­ле­ния в го­ду бы­ло пред­ло­же­но райо­ни­ро­ва­ние ис­сле­ду­е­мой тер­ри­то­рии.

Ис­сле­дуя мно­го­лет­ние ко­ле­ба­ния внут­ри­го­до­во­го у­ров­не­но­го ре­жи­ма рек Зау­ра­лья и вли­я­ние на них ат­мо­с­фер­ных ци­рку­ля­ци­он­ных про­цес­сов, М.А. Ан­д­рее­ва (1986а) так­же ука­зы­ва­ла, что наи­бо­ль­шее вли­я­ние на сто­к рек ока­зы­вает ат­мо­с­фер­ная ци­рку­ля­ция.

Сис­те­ма­ти­зи­ру­ю­щей и обоб­ща­ю­щей ра­бо­той по ре­кам Че­ля­бин­ской об­ла­сти яв­ля­лось ис­сле­до­ва­ние М.А. Ан­д­рее­вой (1991), в ко­то­ром уде­ля­лось вни­ма­ние рас­пре­де­ле­нию сто­ка внут­ри го­да и его мно­го­лет­ним ко­ле­ба­ниям. Ре­зуль­та­ты ис­сле­до­ва­ний сви­де­тель­ст­во­ва­ли о зна­чи­тель­ных тер­ри­то­ри­аль­ных раз­ли­чиях внут­ри­го­до­во­го сто­ка в ма­ло­вод­ные и мно­го­вод­ные го­ды, глав­ны­ми при­чи­на­ми ко­то­рых яв­ля­ют­ся ре­льеф и кли­мат.

С по­мо­щью ме­то­дов ма­те­ма­ти­ческой ста­ти­сти­ки Е.Б. Со­бо­ле­ва (1981) ис­сле­до­ва­ла ос­нов­ные па­ра­мет­ры се­зон­но­го сто­ка рек Кам­ско­го бас­сей­на. По­лу­чен­ные ре­зуль­та­ты по­ка­за­ли, что на из­мен­чи­вость се­зон­но­го сто­ка, в ос­нов­ном вли­я­ют та­кие фак­то­ры, как ши­рот­ная зо­наль­но­сть и ги­дро­ге­о­ло­гические ус­ло­вия ис­сле­ду­е­мо­го райо­на. В ра­бо­те вы­яв­ле­ны за­ви­си­мо­сти ко­эф­фи­ци­ен­тов ва­ри­а­ции се­зон­но­го сто­ка и ус­та­нов­ле­ны их сред­ние ве­ли­чи­ны по трем райо­нам рек Кам­ско­го бас­сей­на.

Особую актуальность представляла работа Г.М. Веретенниковой (1982), где рассматривался вопрос изменения сезонного стока под влиянием хозяйственной деятельности на крупных реках страны, в том числе бассейнов р. Урал.

А.М. Гареевым (1989) исследовались сезонные характеристики стока р. Белой и ее притоков с учетом влияния антропогенных и природных факторов. Было установлено, что существенное влияние на гидрологический режим оказывает высотная поясность. С повышением высоты местности происходит увеличение весеннего стока. Летне-осенняя межень рек Предуралья проявляется устойчиво, но она прерывается дождевыми паводками из-за значительного выпадения атмосферных осадков. Значительное воздействие на сезонный сток рек, по мнению А.М. Гареева, оказывают: карст, заболоченность, лесистость и зарегулированность прудами и водохранилищами.

Работа А.М. Комлева (2006) включала обзор исследований опубликованных ранее и содержала результаты изученности условий формирования стока рек, в том числе территории Урала. На основе этих исследований были разработаны методы оценки стока внутри года.

Таким образом, изучением сезонного стока занимались многие исследователи. Однако полученные ими выводы нуждаются в дополнениях и уточнениях. Исследования сезонного стока производились большей частью по материалам наблюдений на крупных реках, водосборы которых охватывали большие площади и располагались в различных физико-географических условиях или по материалам наблюдений за отдельными реками. Данная работа посвящена более подробному изучению многолетних колебаний сезонного стока рек Челябинской области. Исследуемая территория представляет научный интерес, так как расположена в трех природных зонах, находящихся друг от друга на сравнительно небольшом расстоянии, где наблюдается разнообразие природных условий, приводящих к различию гидрологического режима рек. Изучение ритмичности стока производилось на основе наиболее длительных рядов наблюдений, что достаточно достоверно отражает продолжительность ритмов колебаний и заслуживает доверие. Все это, в частности, подтверждается приведенными далее результатами исследования исходных данных.

### **4.3. Характеристика исходных данных**

Основными источниками информации для исследования многолетних колебаний сезонного стока послужили данные, помещенные в гидрологических ежегодниках с 1936 по 1991 гг., материалы Челябинского ЦГМС за последующие годы, а также фондовые материалы водохозяй-

ственных организаций. Кроме материалов водного кадастра источниками информации послужили метеорологические ежемесячники, справочники по климату, материалы наблюдений за метеорологическим режимом на водомерных постах и станциях.

При проведении исследований приняты следующие сроки гидрологических сезонов: зимний период – с ноября по март, летне-осенний период – с июня по октябрь, весенний – апрель-май включительно.

Обычно, на реках за зимний период принимается время от момента появления на реках ледовых явлений, если отсутствуют осенние паводки в это время, до начала половодья – до перехода от зимних устойчивых расходов воды к весеннему увеличению расходов. При наличии паводков в конце осени начала зимы за начало зимнего периода принимается время окончания паводка.

В работе за зимнюю межень, принимался период от средней даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в сторону ее понижения, до начала весеннего половодья. Продолжительность летне-осенней межени определялась от конца половодья до начала зимнего периода.

Исследования И.Н. Стеженской (1971) показали, что на всех реках начало весеннего половодья и зимней межени тесно связано с водностью года: весеннее половодье в маловодные годы начинается позже, а зимняя межень раньше. Наступление указанных сезонов в многоводные и средние по водности годы по времени близко. Учитывая, что границы гидрологических сезонов едины для всех лет с округлением до месяца (СП 33–101–2003, 2004), а также то, что определение границ сезонов носит условный и дифференцированный характер (Андреянов, 1960, Чеботарев, 1962) и площадь водосборов исследуемых рек небольшая (в среднем  $4000\text{ км}^2$ ), для исследования приняты границы сезонов ранее обозначенные В.Д. Быковым (1963) и М.А. Андреевой (1991). Данные границы гидрологических сезонов используются Челябинским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В работе использованы данные по 21-му гидрологическому посту с разной степенью детальности, характеризующих формирование многолетних колебаний сезонного стока рек рассматриваемой территории.

В табл. 4.5 приведен список постов, на которых проводятся наблюдения за режимными характеристиками рек Челябинской области, использовавшиеся в данной работе.

Из данных таблицы следует, что существующая гидрологическая сеть постов расположена главным образом, на средних реках с водосборными площадями более  $2000\text{ км}^2$  (исходя из классификации П.С. Кузина) и представляет собой данные наблюдений основных исследований. Остальная часть гидрологических постов относится к рекам

имеющим водосборы менее 2000 км<sup>2</sup>, информация по ним использовалась для дополнительного изучения. Наибольшая продолжительность наблюдений составляет 68 лет на р. Ай – Златоуст, р. Юрюзань – Екатеринбург, р. Юрюзань – Вязовая, р. Уй – Плодопитомник, р. Уй – Степное, р. Урал – Верхнеуральск, р. Урал – Кизильское. Лишь в одном пункте период наблюдений составляет 20 лет на р. Увельке – Южноуральск, гидрологические расчеты, по которому, не производились.

Таблица 4.5

*Гидрологические посты на реках Челябинской области  
с восстановленными пропусками наблюдений*

№ п/п	Река – пост	Природная зона	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Средняя высота бассейна (м) БС	Периоды наблюдений	Число лет наблюдений
1	р. Сим – г. Миньяр	Горно-лесная	1810	158	1968–2003	36
2	р. Уфа – г. Нязепетровск		3560	285	1968–2003	36
3	р. Ай – с. Лаклы		6440	527	1936–2003	68
4	р. Ай – с. Веселовка		586	477	1968–2003	36
5	р. Ай – г. Златоуст		1120	412	1936–2003	68
6	р. Юрюзань – д. Екатеринбург		1740	763	1936–2003	68
7	р. Юрюзань – ж/д ст. Вязовая		2430	317	1936–2003	68
8	р. Синара – с. Верхне-Ключевское	Лесостепная	5000	98	1936–2003	68
9	р. Теча – п. Муслумово		3690	170	1968–2003	36
10	р. Миасс – с. Новоандреевка		1830	286	1968–2003	36
11	р. Миасс – д. Костыли		4590	231	1968–2003	36
12	р. Уй – Плодопитомник		7660	161	1936–2003	68
13	р. Увелька – с. Красносельское		3620	202	1968–2003	36
14	р. Увелька – г. Южноуральск		4750	312	1936–1955	20
15	р. Увелька – з/с Карсинский		5100	169	1968–2003	36
16	р. Уй – с. Степное	Степная	3600	253	1936–2003	68
17	р. Урал – г. Верхнеуральск		2650	397	1936–2003	68
18	р. Урал – с. Кизильское		17200	289	1936–2003	68
19	р. Гумбейка – п. Наваринский		4240	328	1968–2003	36
20	р. Б. Караганка – п. Измайловский		1750	290	1968–2003	36
21	р. Карталыаят – г. Карталы		659	287	1968–2003	36

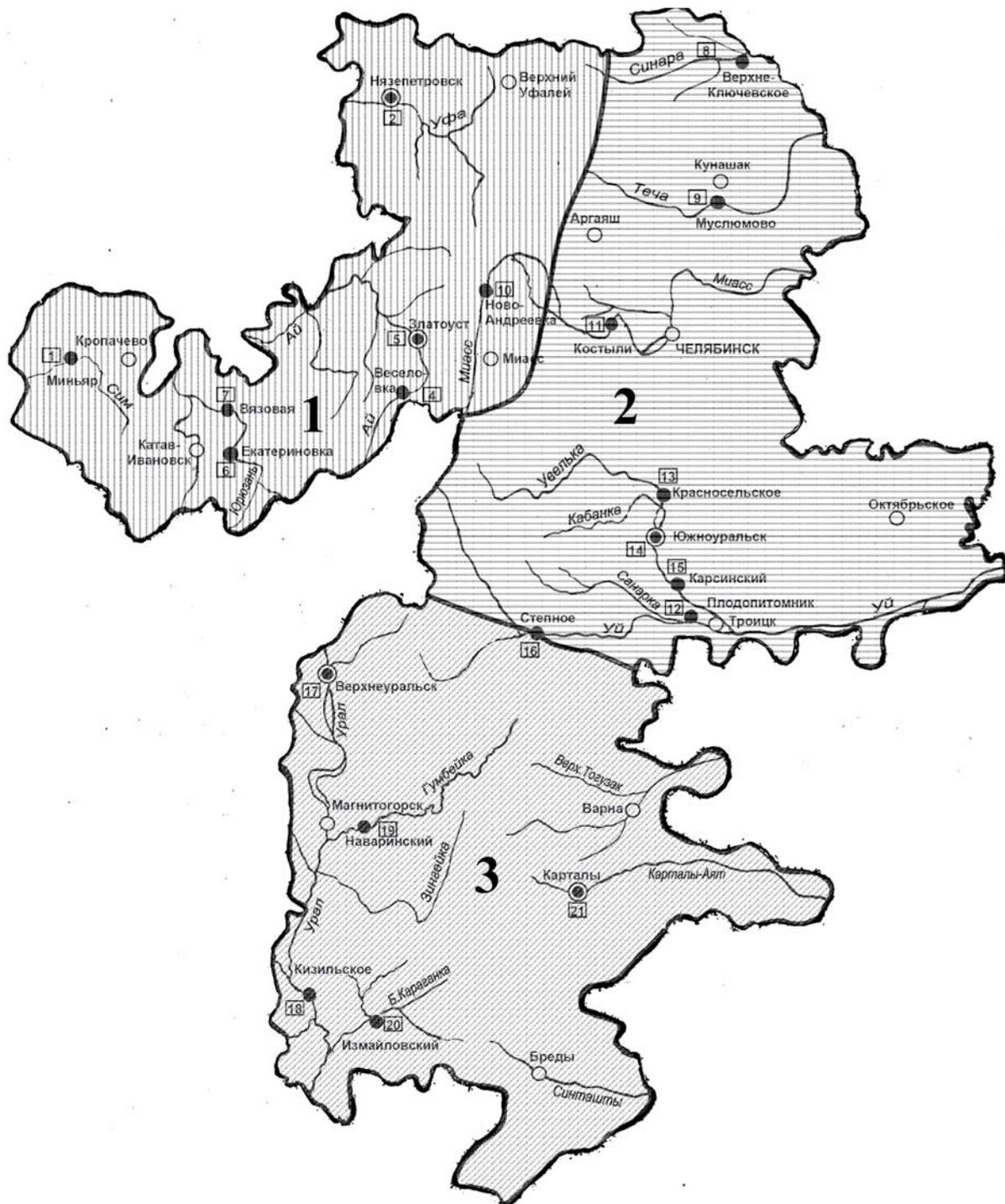
Таким образом, на исследуемой территории в гидрологическом отношении изучены малые и средние, наименее изучены малые реки с площадями водосбора до 2000 км<sup>2</sup>. Основная часть пунктов имеет продолжительность наблюдений более 36 лет и может оцениваться как соответствующая требованиям гидрологических расчетов (Коровин, 1966; Шнитников, 1969). Стоковые пункты размещены по территории области довольно неравномерно (рис. 4.5). Большая часть их находится в западной части области. Один стоковый пункт приходится в среднем на 2750 км<sup>2</sup>. Из всего количества пунктов наблюдений десять находятся в бассейне реки Тобол, семь в бассейне реки Камы, и только четыре в бассейне реки Урал. Ввиду того, что гидрологический пост на р. Ай – Лаклы находится на территории Республики Башкортостан, поэтому на рис. 4.5 он не отмечен.

Оценивая качество исходных данных, следует учесть, что они не равноценны. На точность стоковых данных оказывает большое влияние недоучет водосбора, зарегулированность рек водохранилищами.

Материалы наблюдений за атмосферными осадками обобщены по семнадцати метеостанциям (рис. 4.5). Эти наблюдения соответствуют периоду наблюдений за стоком рек, так как, что основное количество метеорологических функционирует с середины 30-х годов. Они расположены по территории области равномерно, один пункт приходится в среднем на 5170 км<sup>2</sup>. Однако, из-за отдаленности друг от друга и неравномерности выпадения осадков, данные наблюдений на них, не всегда позволяют достоверно отразить распределение осадков по бассейнам незначительных рек (по классификации А.В. Огиевского) области. Кроме того, на метеорологических постах имеет место нерегулярность наблюдений и низкое качество измерительного оборудования. Все это приводит к значительному у несоответствию величин стока и обуславливающих их осадков.

Учитывая изложенное, также то, что наблюдения за стоком проводились с середины 1930-х и с конца 1960-х годов, период 1936–2003 гг. принят в качестве основного, он является репрезентативным для расчетов и обобщений. Исследуемый ряд сочетает периоды, включающие эпохи меридиональной (С) и восточной (Е) форм циркуляций, имеющие различия по условиям формирования стока и соответствует требованиям математической статистики (Шкляев, Калинин, 1966; Вентцель, 1988).

Для расчетов, подтверждения и уточнения результатов применялись данные дополнительного периода с наибольшим количеством совместных наблюдений с 1968–2003 гг.



Условные обозначения:

- – метеорологические посты; [1] – горно-лесная зона;
- – гидрологические посты; [2] – лесостепная зона;
- ◎ – гидрометеорологические станции; [3] – степная зона;
- (номера гидрологических постов (7) соответствуют табл. 4.5)

Рис. 4.5. Гидрологические и метеорологические посты на территории Челябинской области, использованные автором для исследований

Важным и необходимым условием при выявлении ритмических многолетних колебаний сезонного стока рек являлась непрерывность репрезентативного ряда. В большинстве случаев временные исследуемые ряды носили непрерывный характер. Пропуски в рядах наблюдений восстанавливались на р. Ай – Лаклы, р. Ай – Веселовка, р. Миасс – Новоандреевка, р. Синара – Верхне-Ключевское, Теча – Муслумово регрессионным методом при помощи ИС-технологии «Природа» (Рассказова, 2000, 2003). Количество восстановленных данных естественного речного стока на этих реках не превысило 20 % от общей длины ряда, что является приемлемым условием для дальнейших исследований (Румянцев, 2000).

Таблица 4.6

*Средние квадратические ошибки модуля сезонного стока рек ( $\delta_{\bar{x}}$  %) и предельные ошибки рядов ( $\Delta_{\bar{x}}$ ) с заданной вероятностью 99,5 %*

Река-пост	Период наблюдений, (кол-во лет)	Весна		Лето-осень		Зима	
		$\delta_{\bar{x}}$ , %	$\Delta_{\bar{x}}$	$\delta_{\bar{x}}$ , %	$\Delta_{\bar{x}}$	$\delta_{\bar{x}}$ , %	$\Delta_{\bar{x}}$
р. Юрюзань – Вязовая	1936–2003 (68)	3,25	2,07	7,34	1,51	4,30	0,19
р. Юрюзань – Екатериновка	1936–2003 (68)	3,38	2,30	7,09	1,52	4,17	0,16
р. Сим – Миньяр	1968–2003 (36)	4,16	3,51	7,02	1,43	6,37	0,74
р. Уфа – Нязепетровск	1968–2003 (36)	5,41	2,58	9,78	1,16	9,89	0,55
р. Ай – Лаклы	1936–2003 (68)	4,55	2,03	8,63	1,09	4,56	0,20
р. Ай – Златоуст	1936–2003 (68)	4,22	1,94	7,58	0,97	3,29	0,13
р. Ай – Веселовка	1936–2003 (68)	5,65	2,74	9,90	1,23	5,69	0,20
р. Миасс – Новоандреевка	1968–2003 (36)	5,69	1,13	7,85	0,52	5,26	0,13
р. Уй – Степное	1936–2003 (68)	8,42	0,95	9,46	0,25	9,37	0,04
р. Уй – Плодопитомник	1936–2003 (68)	8,56	1,00	9,31	0,18	9,78	0,05
р. Синара – Верхне-Ключевское	1936–2003 (68)	8,15	0,84	8,77	0,19	6,56	0,06
р. Увелька – Карсинский	1968–2003 (36)	9,34	0,92	9,48	0,12	9,32	0,09
р. Увелька – Красносельское	1968–2003 (36)	9,25	0,96	8,31	0,14	9,64	0,06
р. Урал – Верхнеуральск	1936–2003 (68)	6,78	1,41	9,91	0,50	8,33	0,10
р. Урал – Кизильское	1936–2003 (68)	9,76	1,23	9,98	0,25	8,25	0,06

При подтверждении достоверности репрезентативных рядов вычислялась относительная среднеквадратическая ошибка среднего многолетнего значения ряда ( $\delta_{\bar{x}}$ ), которая не превысила допустимую норму – 10 % (табл. 4.6). Вычисления производились по формулам 4.7, 4.8. Данный показатель является предельно допустимым для постоянных физико-географических условий (Международное руководство..., 1984), (СП 33–101–2003), 2004. Для определения точности оценки параметров исследуемых рядов проводилась их проверка на однородность. Главной целью проверки явилось установление принадлежности величин средних значений естественного и восстановленного рядов к одной и той же генеральной совокупности. В результате произведен расчет предельной допустимой ошибки (табл. 4.6). Вычисления велись с использованием закона распределения Стьюдента и его таблицы, по формуле 4.9 (Математическая энциклопедия, 1977; Красс, 2004; Статистика, 2005). Предел вероятности ошибки при заданном уровне значимости (99,5 %) не превысил отношения критической точки ( $t$ ) к средней квадратической ошибке ( $\delta_{\bar{x}}$ ). Предел по результатам вычислений составил не более 3,5 л/с км<sup>2</sup> (табл. 4.6). Исходя из расчетов следует, что при продолжительной длине ряда ( $n$ ), вероятность больших ошибок не существенна.

#### 4.4. Методы исследований сезонных колебаний стока рек

Применяемые в гидрологии методы сводятся к двум категориям. В первую из них входят приемы непосредственной обработки данных о стоке, во вторую – установление зависимости стока от условий его формирования. В гидрологической литературе методы первой категории часто называют «статистическими», методы второй категории «генетическими». В работе применялись оба метода исследования.

В качестве статистического метода использовался метод разностных интегральных кривых, что дает возможность выявить ритмические колебания разной продолжительности, кроме того, они почти не вызывают сдвига фаз колебания. Вычисление разностных интегральных кривых модульных коэффициентов производились по формуле (Владимиров, 1990):

$$f(i) = \frac{\sum_{i=1} (K_i - 1)}{C_v}, \quad (4.1)$$

где  $K_i = \frac{x_i}{x}$  – модульный коэффициент;  $C_v$  – коэффициент вариации;  $x_i$  – последующее значения ряда;  $x$  – текущие значения ряда.

Преимуществом разностных интегральных кривых является и то, что они могут служить характеристикой взаимосвязи двух или нескольких объектов (рек). В разностном интегральном ряду закономерная его структура проявляется более четко, чем в исходном ряду, а амплитуды длинных волн увеличиваются больше, чем коротких, поэтому метод является привлекательным для изучения сезонных колебаний стока.

Помимо выше изложенного при исследовании применялся метод скользящих средних. Сущность этого метода подробно изложена в работе Е.С. Рубинштейн, Л.Г. Полозовой (1966). Одним из преимуществ данного метода является то, что характер кривых, построенных по скользящим средним, не зависит от длины, использованного периода наблюдений, а это позволяет сравнивать и выявлять особенности колебаний стока.

Существенным недостатком при сглаживании ритмических колебаний является смещение границ между фазами, а также возможность появления в сглаженном ряду ложных ритмов. О.А. Дроздовым (1971) разработаны критерии, позволяющие установить отличие детерминированных колебаний в исследуемом ряду от колебаний, имеющих место в случайных бессвязных рядах. Поэтому метод скользящих средних целесообразно применять или для обнаружения ритмов с длиной волны больше утроенного интервала осреднения, или для контроля реальности ритмов путем применения нескольких периодов сглаживания.

Исследование взаимосвязей гидрометеорологических элементов также производилось статистическим способом – методом корреляции. Коэффициент корреляции, вычислялся по формуле (Владимиров, 1990):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4.2)$$

где  $x_i, y_i$  – текущие значения случайных величин;  $\bar{x}, \bar{y}$  – их математические ожидания (среднеголетние величины);  $n$  – число членов ряда.

Средне квадратичная ошибка коэффициента корреляции ( $\delta_r$ ) вычислялась по формуле (Рождественский, 2000):

$$\delta_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (4.3)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции без учета его знака;  $n$  – число членов ряда.

При его применении необходимо помнить, что при  $r_{xy} \geq 0,3$  связь между рядами признается слабой, при  $0,3 \leq r_{xy} \leq 0,7$  – средней и при

$0,7 \leq r_{xy} \leq 1$  – высокой степени (Рассказова, 2000). Достоинство этого метода в том, что его можно применять даже при небольшом числе наблюдений.

Для выявления ритмов применялся метод анализа Фурье. Этот математический метод дает наиболее точные результаты и позволяет выявить закономерности там, где они непосредственно не предусмотрены. При этом самым важным обстоятельством является то, что в результате анализа явно выступают амплитуды и начальные фазы гармонических компонент, вследствие чего становится возможным установить сходство или различие в разных сериях наблюдаемых величин, измеренных в местных условиях. Значение амплитуд очень важно с точки зрения реальности существования выявленных ритмических составляющих, так как, если они имеют большие амплитуды, то их наличие совершенно очевидно (Бендат, Пирсол, 1989).

Суть этого метода состоит в том, что ряд наблюдений, исследуемый на выявление ритмичности, раскладывается в ряд Фурье. Более подробное его описание приводится в работах: С.Г. Серебрянникова (1965), Г. Самнера (1981). Формула ряда Фурье имеет следующий вид (Серебрянников, 1965):

$$f(x) = \bar{x} + \sum_{i=1}^{i=n} [A_i * \sin(2\pi i x/p) + B_i * \cos(2\pi i x/p)], \quad (4.4)$$

где  $p$  – основной период данных наблюдений;  $n$  – число данных в совокупности (в общем случае  $p = n$ );  $\bar{x}$  – среднее арифметическое ряда данных;  $i$  – номер гармоники колебания.

$A_i$  и  $B_i$  – коэффициенты ряда Фурье, вычислялись по формулам:

$$A_i = 2/n \sum_{t=1}^{t=n} x_t * \sin(2\pi i t/t); \quad (4.5)$$

$$B_i = 2/n \sum_{t=1}^{t=n} x_t * \cos(2\pi i t/t), \quad (4.6)$$

где  $t$  – порядковый номер наблюдения;  $p$  – основной период данных наблюдений;  $n$  – число данных в совокупности (в общем случае  $p = n$ );  $\bar{x}$  – среднее арифметическое ряда данных;  $i$  – номер гармоники колебания;  $x_t$  – значения ряда данных

Недостатком данного метода является зависимость получаемых ритмов от длины исходного ряда. Ряд Фурье должен содержать всегда четное количество значений. Еще одним недостатком метода является появление шумов в коротких рядах наблюдений. Первым признаком шума в таких рядах является появление ритма, равного периоду наблюдений.

Этот метод применялся в качестве основного для выявления ритмических многолетних колебаний сезонного стока. Его использовали

в своих исследованиях Э.И. Сарухян (1971), р. Стиметс (1985), М.А. Андреева, Н.С. Рассказова (1986), Н.С. Рассказова (2003) и др.

Для оценки достоверности репрезентативных рядов рассчитывалась случайная среднеквадратическая ошибка среднего многолетнего значения ряда (СП 33–101–2003), 2004:

$$\delta_{\bar{x}} = (\sigma_x/n) \sqrt{\frac{(1+r)}{(1-r)}}, \quad (4.7)$$

где  $\sigma_x$  – среднеквадратическое отклонение ряда;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое ряда данных;  $r$  – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда;  $n$  – число членов ряда.

Расчет среднеквадратического отклонения ( $\sigma_x$ ) сезонного стока производился по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (4.8)$$

где  $\bar{x}$  – среднее арифметическое ряда данных;  $x_i$  – текущие значения ряда;  $n$  – число членов ряда.

Если  $n$  более 30 лет, то ( $\sigma_x$ ) можно вычислять без учета ошибки (Железняков, 1984).

При расчете уровня предельной допустимой ошибки ряда использовался закон распределения Стьюдента и его таблица (Красс, 2004, Статистика, 2005). В расчетах использовался уровень значимости 95 %, который принят в гидрологии в качестве оптимального (Денисов, 1975, Рыжиков, 1996).

Закон распределения случайной величины  $t_n$  носит название закона распределения Стьюдента (Красс, 2004):

$$t_n = \frac{Z}{\sqrt{\frac{1}{n} \chi_n^2}}, \quad (4.9)$$

где  $Z$  – случайная величина с параметрами стандартного нормального распределения при математическом ожидании = 0 и дисперсии = 1;  $\chi_n^2$  – независимая от  $Z$  величина, распределенная по закону  $\chi^2$  с  $n$  степенями свободы;  $n$  – число степеней свободы.

Расчет уровня предельной допустимой ошибки ряда производился по формуле:

$$\Delta \bar{x} = t \delta_{\bar{x}}, \quad (4.10)$$

где  $t$  – величина критического распределения заданной вероятности;  $\delta_{\bar{x}}$  – среднеквадратическая ошибка.

Полученная величина с заданной вероятностью показывает, на сколько может измениться среднее значение ряда, причем предел возможной ошибки определяется неравенством:

$$\Delta \bar{x} \leq t \delta_{\bar{x}}, \quad (4.11)$$

где  $t$  – величина критического распределения заданной вероятности;  $\delta_{\bar{x}}$  – среднеквадратическая ошибка.

Для установления величины вероятности связи двустороннего ряда использовался непараметрический метод ранговой корреляции Спирмэна. Данный метод имеет простую методику вычислений, его применяют даже при небольшом числе наблюдений. В основе метода лежит принцип нумерации значений ряда или ранжирование. Преимущество данного метода в том, что можно рассчитать наличие или отсутствие связи между признаками, если сопоставить последовательность взаимного расположения рангов факторного и результативного признаков. Расчеты производились по формуле (Статистика, 2005):

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (4.12)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции рангов Спирмэна;  $d_i$  – величина разности рангов значений факторного и результативного признаков;  $n$  – количество сопоставляемых рангов.

Как указывалось ранее, при анализе ранговой корреляции Спирмэна необходимо учитывать, что при  $r \geq 0,3$  связь между рядами является слабой, при  $0,3 \leq r \leq 0,7$  – средней степени, и при  $r \geq 0,7$  – высокой.

При использовании коэффициента ранговой корреляции определялись критические точки распределения Стьюдента  $t_n$ . Вычисления производилось по формуле:

$$t_n = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}, \quad (4.13)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции рангов Спирмэна;  $n$  – количество сопоставляемых рангов.

С помощью таблицы Стьюдента находилась величина вероятности связи двух рядов. Ее надежность использовалась в кластерном анализе, когда при исследовании один и тот же ряд объединялся с другими кластерами. В данном случае определялся процент вероятности попадания его в тот или иной кластер.

При определении водности года производился расчет эмпирической ежегодной вероятности превышения гидрологических характеристик. Вычисления велись по формуле (СП 33–101–2003, 2004):

$$P_{m,\%} = \frac{m}{n+1} 100, \quad (4.14)$$

где  $m$  – порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке;  $n$  – общее число членов ряда.

Так как гидрологические ряды более 30 лет, то водность года определялась по градациям вероятностей превышения стока реки за год: очень многоводные годы ( $P_{m,\%} < 16,7$ ), многоводные годы ( $16,7 \leq P_{m,\%} < 33,3$ ), средние по водности годы ( $33,3 \leq P_{m,\%} \leq 66,7$ ), маловодные годы ( $66,7 < P_{m,\%} \leq 83,3$ ) и очень маловодные годы ( $P_{m,\%} > 83,3$ ).

Для оценки синхронности многолетних колебаний сезонного стока применялся многомерный статистический анализ. Он основан на анализе корреляционных матриц и относится к разряду спецалгоритмов кластерного анализа. В используемом методе кластеризации привлекает удобное визуальное представление результатов в виде дендрограммы, показывающей кластерное ядро на каждом уровне сходства (уровне корреляции). Важным и положительным моментом методики и алгоритма исследования является оценка качества кластеризации на каждом уровне сходства. Подробное описание метода кластерного анализа представлено в работе М.С. Олдендерфер, 1989, а его использование в работе Н.С. Рассказовой, 2003.

Наряду со статистическими методами использовался и генетический. При выявлении закономерностей распределения осадков и форм атмосферной циркуляции анализировались карты барической топографии АТ<sub>500</sub> и схемы синоптических процессов и за 1936–2001 годы.

Исследование ритмичности проводилось выше изложенными методами, в результате были выявлены реальные закономерности существования ритмов в многолетних колебаниях сезонного стока рек. Для выполнения расчетов использовались ИС-технология «Природа» (Рассказова, 2000, 2003), а также электронные таблицы Excel '2000.

На формирование сезонного стока оказывает влияние целый ряд физико-географических факторов. К числу важнейших из них относятся климатические (особенности атмосферной циркуляции, количество выпавших осадков, испарение и др.). Основную роль в распределении по территории атмосферных осадков, а, следовательно, и стока, имеют природная зональность климата и рельеф. Влияние других факторов (геологическое строение, заозерность, зеленность и т. д.) выражено слабее.

Челябинская область имеет свои геологические, орографические и климатические особенности. По геологическому строению изучаемая

территория отличается меридиональной направленностью основных тектонических структур и разделяющих их крупных глубинных разломов.

Уральские горы образуют огромный барьер на пути движения западных воздушных потоков, что вызывает резкое увеличение выпадения количества осадков на западных наветренных склонах по сравнению с восточными, подветренными.

Карстовые породы наиболее распространены в Предуралье, чем в Зауралье. Развитие карста способствует снижению значений стока в весенний период, а в летний и зимний периоды наоборот их повышению. Так наличие карстующихся пород на рассматриваемой территории, сказалось, особенно, при исследовании зимнего стока, когда влияние данного фактора существенно.

Количество выпадения сезонных атмосферных осадков отличается неравномерностью. Основная их доля приходится на теплый период (весенний и летне-осенний сезон), что составляет около 75 % от годовой суммы. В весенний период (апрель-май) их доля не превышает 15–17 % от года, причем количество весенних осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток. Высокие их величины свойственны горно-лесным районам области. За июнь-октябрь приходится 60 % от годовой суммы. В первую половину лета осадков выпадает меньше, чем во вторую. Максимум приходится на июль (18 %). Доля осадков зимнего сезона составляет 20–25 % от годовой суммы. Максимум осадков приходится на начало зимы (ноябрь – декабрь) и составляет 10–12 % от годовой суммы.

Рост количества выпадения сезонных осадков на рассматриваемой территории наблюдается с увеличением высоты и сильнее выражено в Предуралье в летне-осенний период. В Зауралье в этот период происходит нарушение зависимости осадков от высоты.

Наибольшая величина испарения приходится на летне-осенний период, так как в это время выпадает большее количество осадков. На территории Челябинской области количество осадков уменьшается в юго-восточном направлении, а испарение возрастает, потери стока резко увеличиваются и уменьшение величины стока в этом направлении происходит более резко, чем уменьшение количества осадков. Поэтому влияние испарения на сток рек протекающих в южных районах области существенно.

Таким образом, сезонный речной сток определяется в первую очередь естественными природными процессами, но в современных условиях воздействие антропогенного фактора на водные ресурсы возрастает, однако малые емкости водохранилищ на территории области не значительно изменяют естественный режим сезонного стока рек.

## ГЛАВА 5. ГИДРОГРАФИЯ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

### 5.1. Речная сеть, закономерности ее строения и распределения

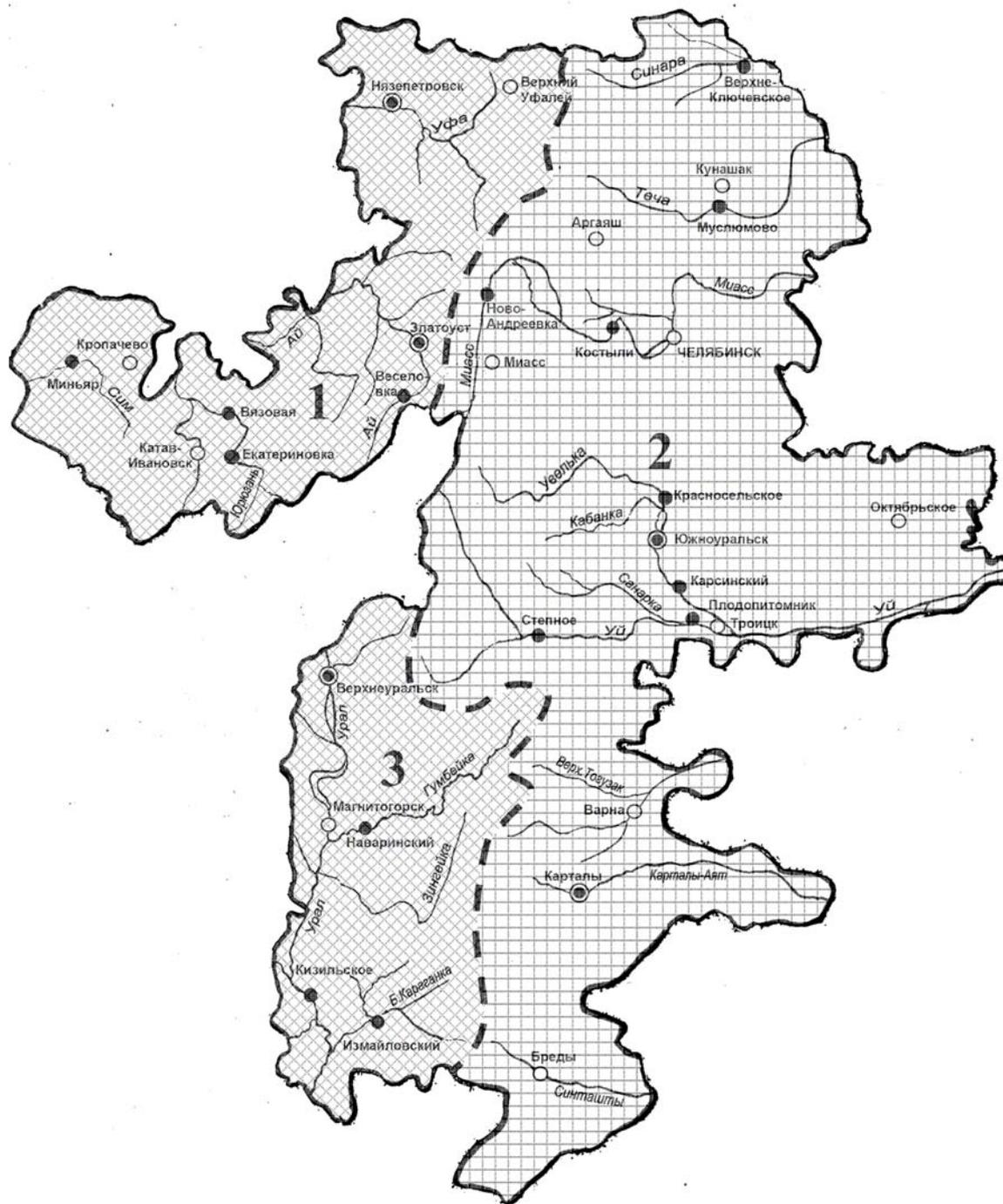
Под речной сетью понимается совокупность всех рек, сбрасывающих свои воды через главную реку в море. Она является частью гидрографической сети, включающая все реки находящиеся в пределах какой-либо территории. Речная сеть характеризуется протяженностью, густотой и извилистостью. Гидрографические особенности рек и их бассейнов являются одним из важных факторов гидрологического режима рек, наряду с климатическими и геолого-географическими условиями.

Речная сеть Челябинской области принадлежит к бассейнам Тобола, Камы, Урала (рис. 5.1). Бассейн р. Тобол, занимает более 55 тыс. км<sup>2</sup> и составляет 62,2 % площади области. К бассейну р. Камы принадлежит площадь 17,1 тыс. км<sup>2</sup> и 19,3 % территории области. Бассейн р. Урал, представлен верхним течением р. Урал и занимает в пределах области 16,4 тыс. км<sup>2</sup> или 18,5 % (Андреева, 1991).

Всего по территории Челябинской области протекают 3602 реки общей протяженностью 17926 км. Имеющие в основном незначительный размер (исходя из классификации А.В. Огиевского), так как текут они своими верховьями (табл. 5.1).

Таблица 5.1  
*Количество и протяженность рек Челябинской области (Андреева, 1991)*

Длина, км	Кол-во рек		Общая протяженность	
	число	%	км	%
<10	3254	90,3	7691	42,9
10–25	259	7,2	3527	19,7
26–50	48	1,3	1599	8,9
51–100	24	0,7	1668	9,3
101–200	10	0,3	1377	7,7
201–300	4	0,1	952	5,3
301–400	3	0,1	1111	6,2
Всего	3602	100,0	17926	100,0



Условные обозначения:  
 1 – бассейн р. Камы; 2 – бассейн р. Тобол;  
 3 – бассейн р. Урал; — — — — — границы водоразделов

Рис. 5.1. Границы водоразделов бассейнов на территории Челябинской области (Сысоев, 1959)

Подавляющее большинство рек не достигающие длины 10 км, составляют 90,3 % общего числа рек Челябинской области, что составляет почти 43 % их суммарной протяженности. Количество рек величиной

более 10 км насчитывается 348, их суммарная длина равна 10235 км, из них 259 рек, имеющих размеры от 10 до 25 км. И только 89 рек превышают эту длину. Протяженность свыше 100 км имеют лишь 14 рек и относятся к очень малым рекам. Однако даже самые протяженные реки в пределах области (р. Миасс, Уй, Урал) не достигают 500 км и относятся по существующей градации к малым рекам (Приложение 1).

Распределяются реки длиной более 10 км, по территории области неравномерно (табл. 5.2).

Таблица 5.2

*Количество и протяженность рек по бассейнам (Андреева, 1991)*

Бассейн реки	Кол-во рек		Общая протяженность		Площадь водосбора	
	кол-во	%	км	%	км <sup>2</sup>	%
Кама	178	55,1	3920	38,3	17,1	19,3
Тобол	127	36,5	4627	45,2	55,0	62,2
Урал	43	12,4	1688	16,5	16,4	18,5
Всего	348	100,0	10275	100,0	88,5	100,0

Из таблицы следует, что более 55 % всех рек приходится на Камский бассейн, хотя площадь его занимает только 19,3 %. Бассейн Тобола охватывает 62,2 % территории области, а распространенные здесь реки составляют лишь 36,5 % от общего количества. В бассейне р. Урал находится 43 реки или 12,4 %, площадь его занимает почти 18,5 %. Таким образом, по количеству рек выделяется Камский, а по охватываемой площади водосбора Тобольский бассейн.

Разнообразие климатических условий и геолого-геоморфологического строения приводит к существенным различиям в пространственном распространении рек. Степень насыщенности территории водотоками характеризуется коэффициентом густоты сети. На территории области его значения уменьшаются с запада на восток и с севера на юг. В Предуралье и горной части значения этого коэффициента изменяются в пределах 0,4–0,7 км/км<sup>2</sup>, а в Зауралье от 0,01 до 0,4 км/км<sup>2</sup>. Средняя величина густоты речной сети на рассматриваемой территории составляет 0,20 км/км<sup>2</sup> (Островский, 1965).

Территориальные изменения густоты речной сети зависят от условий увлажнения и водопроницаемости пород, слагающих водосборы. Наиболее разрежена речная сеть в засушливых районах области и в бассейнах, сложенных закарстованными породами. За счет закарстованности слагающих пород в ряде районов бассейна р. Уфы речная сеть развита слабо, часто представлена временными водотоками, которыми обычно являются суходолы, заполняющиеся водой только во время ве-

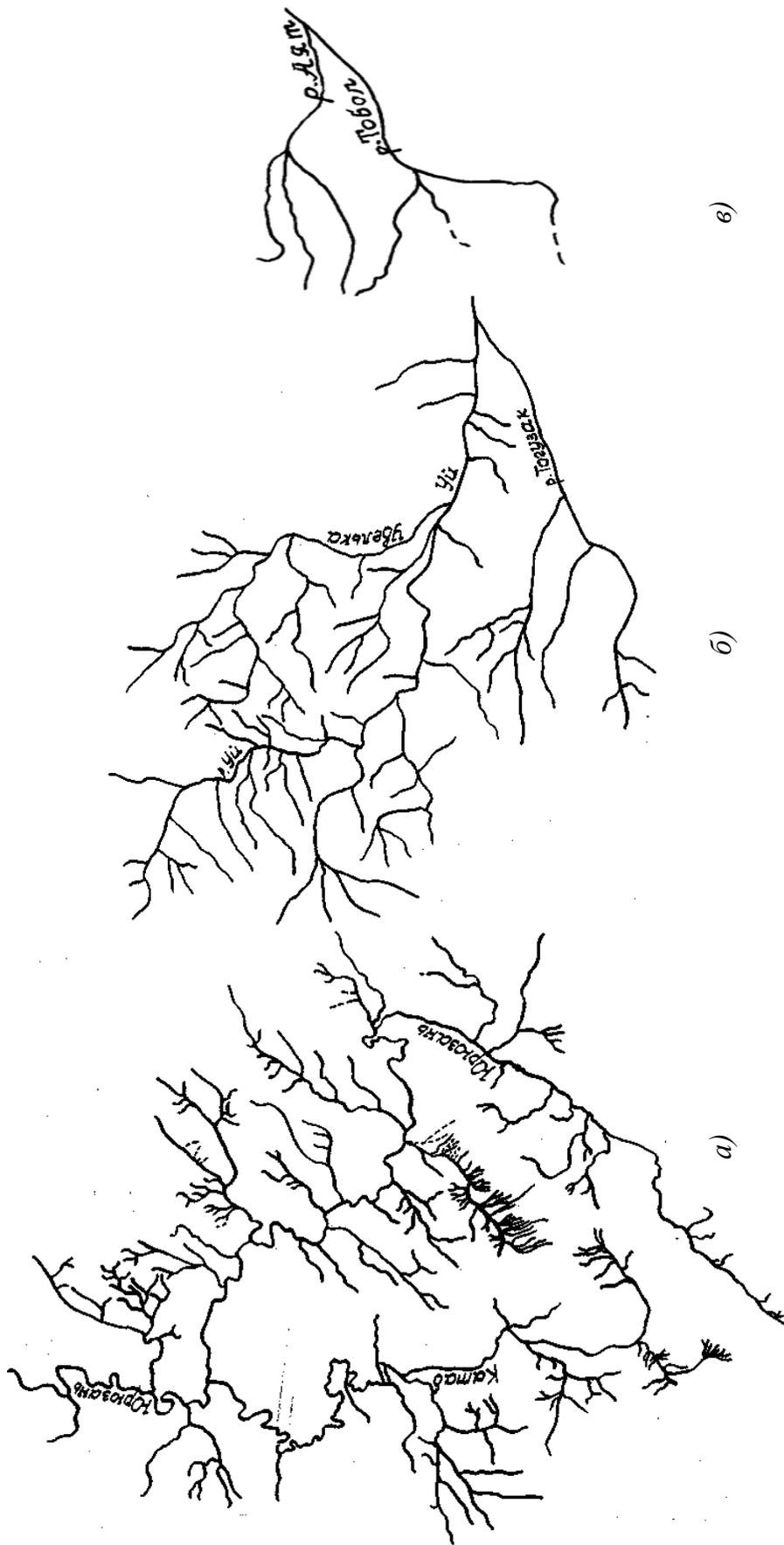
сеннего половодья или летних паводков. К такому же выводу об уменьшении густоты речной сети в карстовых районах, пришли Г.М. Островский (1965), В.А. Балков (1963, 1964, 1970) и др.

Особо следует выделить бессточную область, занимающую значительное пространство Южного Зауралья между бассейнами р. Миасс – Уй, р. Уй – Тогузак, р. Тогузак – Синташты. Для этого района характерно обилие многочисленных бессточных озер, которые собирают весь поверхностный сток и аккумулируют влагу в бассейне рек. Речная сеть здесь на значительном пространстве отсутствует (Шкляев, 1964).

Конфигурация речных систем отличается наибольшей сложностью в горной части и западных предгорьях, где протекают притоки р. Белой. Это связано с разнообразием форм рельефа и сложностью геологического строения территории. Речная сеть в этих районах имеет решетчатое строение, которая характерна для рек р. Юрюзань, Ай, Б. Сатка (рис. 5.2, а). Продольные отрезки долин чередуются с поперечными. При этом одна и та же река на отдельных участках течет в разных меридиональных долинах, переходя из одной в другую путем прорыва хребтов в поперечном направлении. Притоки разных порядков направлены почти перпендикулярно друг к другу. Продольные отрезки систем приурочены к межгорным понижениям. В поперечных отрезках реки приобретают горный характер. Долины их узкие, дно порожистое, скорости течения значительные, а по берегам рек поднимаются отвесные скалы. Широтные участки некоторых рек (р. Сим, Катав и др.) совпадают с днищами древних рек, что служит причиной образования мощных толщ аллювия в их долинах (Андреева, 1991).

Реки восточного склона Урала являются горными только в верховьях. Это реки Миасс, Уй и их притоки, стекающие по восточному склону Уральских гор на прилегающие равнины. В среднем течении, при их выходе на Зауральскую равнину, долины расширяются, течение становится более спокойным, берега низкими и заболоченными. По форме рисунка речная сеть Зауралья относится к древовидному типу. Примером могут служить речные системы р. Уй, Увелька (рис. 5.2, б). Реки Зауралья под действием эрозионной деятельности прорезают осадочные отложения и образуют резкие изгибы. Притоки верхней части р. Тобола (Аят, Карагайлыаят, Синташты) текут в широтном направлении на некотором расстоянии друг от друга. Эти речные системы можно отнести к параллельному типу (рис. 5.2, в) (Андреева, 1991).

При переходе рек на Западно-Сибирскую низменность речная сеть приобретает типичный равнинный характер. Реки отличаются спокойным течением, извилистым руслом, но ограниченным меандрированием. Однако для пойм равнинных рек нередко свойственна многорукавность, что связано с плоским рельефом, низким положением пойм.



Условные обозначения:

а – решетчатый тип речной сети бассейна р. Юрюзань;

б – древовидный тип речной сети бассейна р. Уй;

в – параллельный тип речной сети бассейна р. Тобол

Рис. 5.2. Конфигурация речных систем (Андреева, 1991)

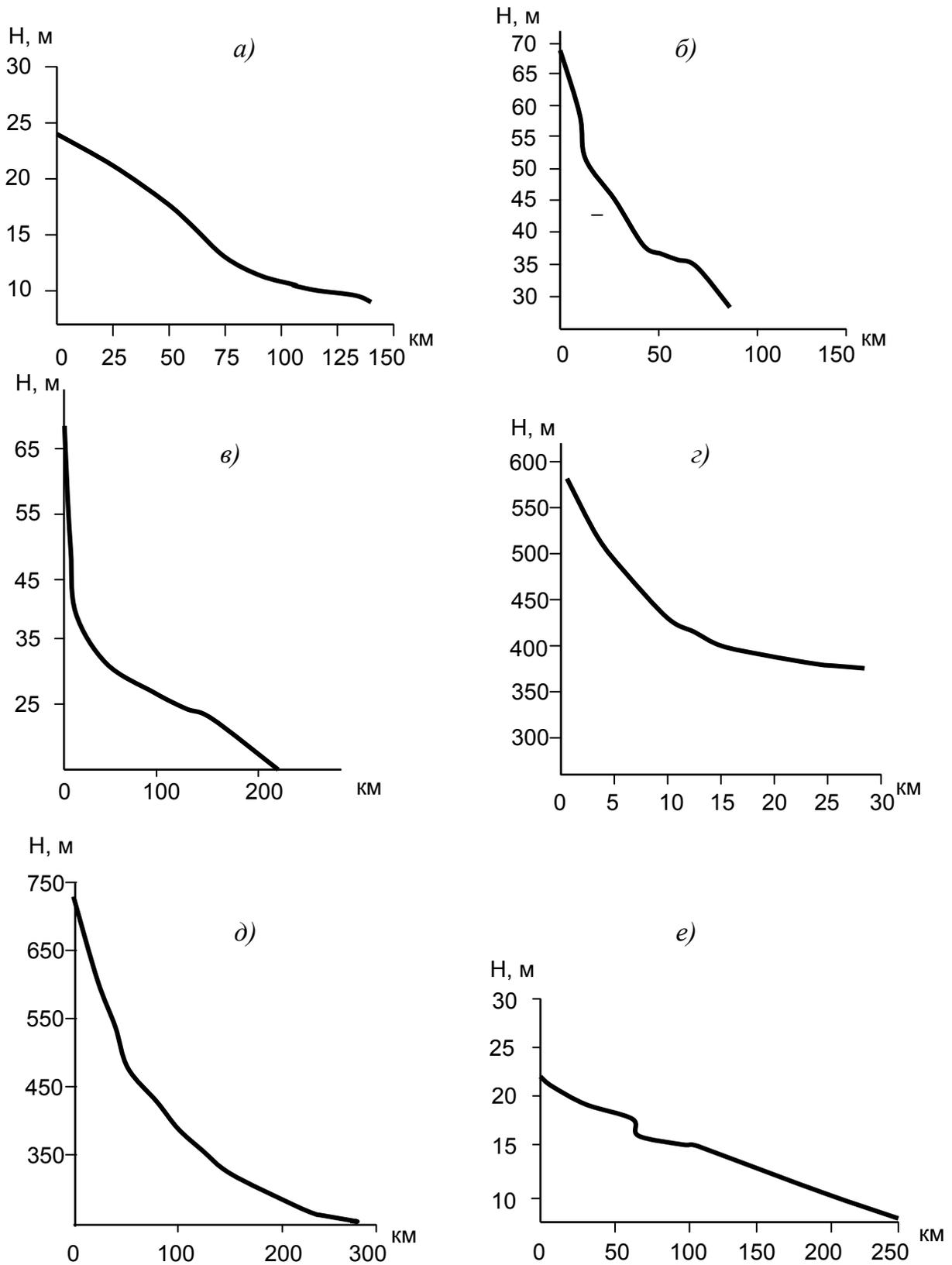
Наибольшими значениями падения и уклонов отличаются реки горных районов. От истока к устью падение составляет 400–600 м, а уклон 10–20 м на 1 км длины реки. У рек Зауралья эти характеристики значительны только в верховьях, а вниз по течению они резко снижаются. Общее падение у разных рек изменяется от 200 до 500 м, а средний уклон – от 0,6–0,8 до 1–2 м/км (Андреева, 1991).

По особенностям распределения падения и уклонов по длине реки продольные профили можно отнести к трем типам: ступенчатый (рис. 5.3, *a*, *б*, *в*), плавновогнутый (рис. 5.3, *г*, *д*) и прямолинейный (рис. 5.3, *е*).

Продольные профили рек недостаточно выработаны, что является следствием продолжающихся новейших движений, которые вызвали поднятие Южного Урала и прилегающих к нему территорий.

Современные речные долины формировались в тектонических понижениях или прорезали горные хребты и создавали поперечные долины. Для долин западного склона Урала характерно двух ярусное строение, что связано с врезанием в днища древних межгорных понижений молодых, более глубоких и узких долин. Молодые долины рек Южного Урала (р. Юрюзань, Ай) врезаны в днища древних долин на глубину до 100–120 м. Углубление молодых долин обусловлено новейшими поднятиями территории Предуралья. В зоне восточных предгорий и Зауральской равнины после отступления палеогенового моря речная сеть заложилась заново, и ориентировка часто не совпадает с направлением древних долин (Чикишев, 1960). Древние долины были перекрыты более поздними палеогеновыми отложениями. Поэтому современные долины не имеют глубокого вреза и в рельефе выражены слабо.

Долины горных рек по морфологическому строению относятся к V-образному типу. Склоны долин сливаются со склонами прилегающих гор. Высота склонов достигает 100–150 м, а крутизна 30–40° и даже 60°. Например долина р. Ай (рис. 5.4, *a*). В зоне более низких предгорий долины рек расширяются, приобретают трапецеидальную (рис. 5.4, *б*), или корытообразную форму (рис. 5.4, *в*). Пойма у большинства горных рек в верховьях отсутствует, ниже по течению появляется прерывистая пойма, чередующаяся по берегам, местами двусторонняя. Ширина поймы увеличивается от 20–40 м в верхней части до 1–2 км при выходе на холмистую равнину. Русла рек умеренно извилистые и разветвленные. Берега крутые и каменистые. Скорость течения до 1,5–2,0 м/с (Андреева, 1991). Реки Зауральской равнины имеют слабовыраженные долины трапецеидальной и дугообразной формы. Склоны долин пологие, сливающиеся с междуречными пространствами, ширина их изменяется от 0,5–1,0 км до 3–5 км. Высота склонов небольшая, 10–20 м, и редко увеличивается до 50–60 м. По речным долинам прослеживаются обнажения горных пород (граниты, известняки, глинистые сланцы), особенно в местах, где прорезают увалы и поднятия.



*Рис. 5.3. Продольные профили рек:  
 а – р. Синара; б – р. Б. Сатка; в – р. Уй; г – р. В. Ирмель; д – р. Ай; е – р. Теча  
 (Ресурсы поверхностных вод..., 1973)*

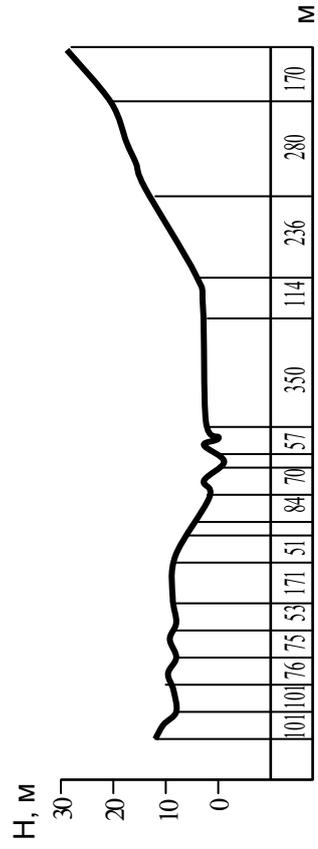
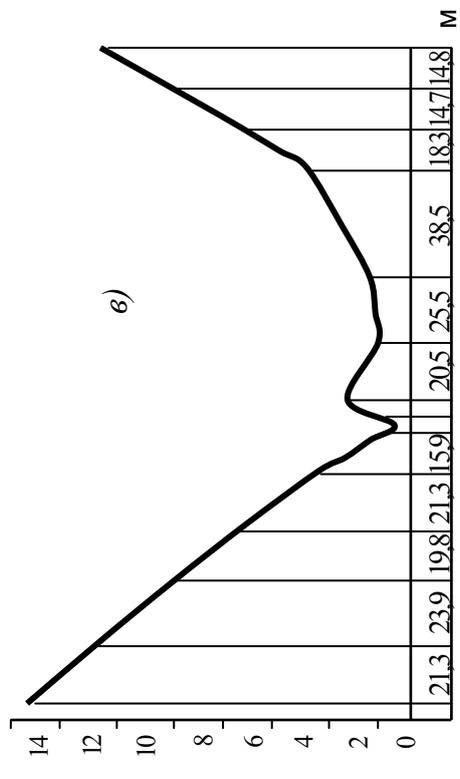
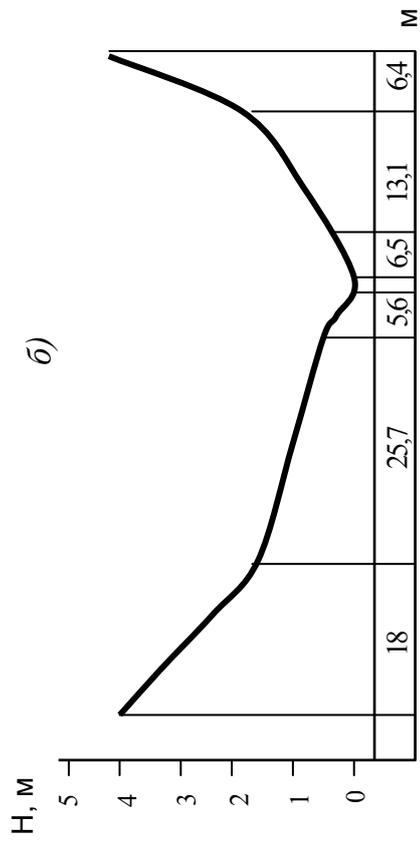
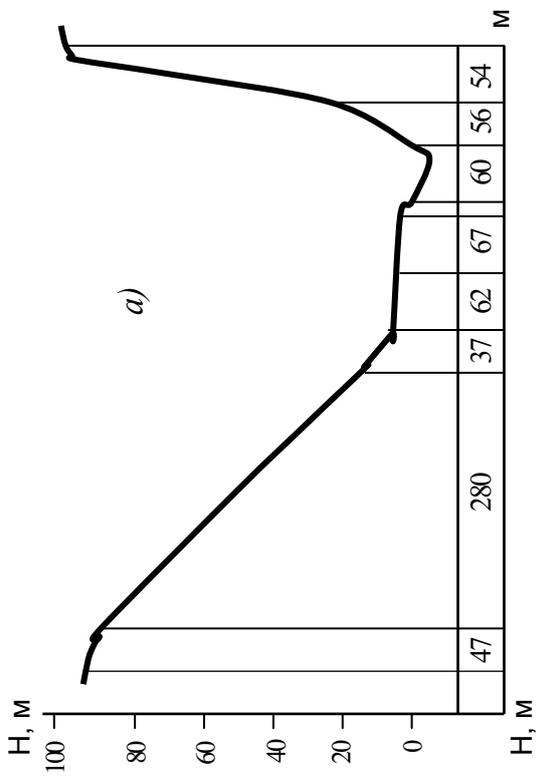


Рис. 5.4. Поперечные профили долин рис:  
 а – Ай, б – Черная, в – Н. Ирмель, г – Теча (Ресурсы поверхностных вод..., 1973)

Поймы у рек широкие, от 400–800 м до 2–3 км, поверхность их ровная, слабоизрезанная старицами и сухими логами. Нередки случаи заболоченных пойм, заросших кустарниками. Руслу рек извилистые, деформирующиеся, с часто встречающимися отмелями, косами, островами (Андреева, 1991). На рис. 5.4, *г* изображена долина р. Течи на участке, приуроченном к Западно-Сибирской низменности. Форма долины близка к трапецеидальной, пойма широкая, асимметричная, двухсторонняя (Андреева, 1991).

Таким образом, реки Челябинской области протекают своими верховьями. По их количеству выделяются Камский, а по охватываемой площади водосбора Тобольский бассейны. Природные условия существенным образом отображают характер строения и распределения гидрографической сети. Густота речной сети в целом зависит от особенностей увлажнения территории и водопроницаемости пород, слагающих водосборы. Наиболее густая речная сеть наблюдается в Предуралье, а разреженная в засушливых степных районах области и в бассейнах сложенных закарстованными породами. Разнообразие конфигураций речных систем характерно для рек горной и западной предгорной части области, что связано с разнообразием рельефа и сложностью геологического строения территории. При исследовании формирования сезонного стока необходимо рассмотреть особенности характера питания рек и его влияние на сезонный сток рек.

## 5.2. Характер питания рек и его влияние на сезонный сток

Характер питания рек области обуславливает формирование сезонного стока, которое определяется совокупным воздействием всех природных факторов и процессов. Предыдущими работами (В.Д. Быковым, 1963. Т.П. Девятковой, 1966, 1968. М.А. Андреевой, 1983, 1991 и др.) были установлены особенности сезонного стока на Урале.

Исходя из классификации Б.Д. Зайкова (1946) реки Челябинской области по характеру гидрологического режима и источникам питания относятся к двум типам – Казахстанскому и Восточно-Европейскому. Казахстанскому соответствуют реки Зауралья, а Восточно-Европейскому – реки Предуралья. Для обоих типов рек характерно ярко выраженное весеннее половодье и относительно низкая водность в остальное время года. По классификации П.С. Кузина (1960) реки Предуралья относятся к рекам горно-лесной зоны, с весенним половодьем и паводками в теплое время года, а реки Зауралья, к лесной и степной зоне, с весенним половодьем и паводками – преимущественно летними и редкими, незначительными осенними.

Питание рек в основном осуществляется снеговыми водами, причем доля снегового питания в Предуралье составляет 60–70 %, а в За-

уралье до 80–90 %. Доля дождевого питания на реках значительна и уменьшается с северо-запада на юго-восток, что связано с климатическими условиями территории. Для горных рек она составляет 25–30 %, а в южных районах снижается до 10–12 %. Доля подземного питания не превышает 20–25 %, но в закарстованных районах она иногда увеличивается до 40–50 % годового стока (табл. 5.3).

Следует отметить, что область питания подземных вод на Южном Урале – мезопонижения на водосборе и на водоразделах рек (Нестеренко, 2006; Нестеренко, Глянцев, 2007).

Во внутригодовом распределении соотношение подземного и поверхностного стока меняется посезонно. В весенний период доля подземного притока не превышает 10–12 %. Основная доля поверхностного стока формируется за счет талых вод (85–90 %), доля дождевого питания наименьшая и составляет 1–3 %. В летне-осенний период величина подземного питания возрастает и составляет 30–60 %, на долю дождевого питания приходится до 40–70 %. Зимой реки переходят на подземное питание (табл. 5.3).

Таблица 5.3

*Соотношение источников питания рек по сезонам года в процентах (%) (Андреева, 1991)*

Районы	Весна			Лето-осень		Зима	Год		
	снег. воды	дожд. воды	подз. воды	дожд. воды	подз. воды	подз. сток	снег. воды	дожд. воды	подз. воды
Горный	86	3	11	67	33	100	50	25	20
Предуралье	87	1	12	40	60	100	60	10	30
Зауралье	90	1	9	58	42	100	70	10	20

На характер питания рек Челябинской области, большое значение оказывает весенний сток. Его доля уменьшается с юго-востока на северо-запад. Объясняется это тем, что из-за климатических особенностей, величины стока рек Предуралья выше, чем в Зауралье на протяжении всего года, этот факт накладывает отпечаток на процентное соотношение внутри года. При рассмотрении соотношения доли весеннего стока от годового, показатели соответственно будут увеличиваться по мере сухости климата. Так в горных районах (р. Ай, р. Юрюзань) сток весеннего половодья составляет 60 % от годового, на равнинном Зауралье (р. Уй, р. Увелька) доля его увеличивается до 70 %, а на юге области (р. Б. Караганка, р. Гумбейка) превышает 80 %.

В летне-осенний период сток резко снижается. Если его величина в Предуралье уменьшается в два раза по сравнению с весенним и составляет приблизительно 30 % от годовой суммы, то в Зауралье – более трех

раз ( $\approx 20\%$  от годовой суммы), а на юге области – более восьми раз (менее  $10\%$  от годовой суммы). В зимнее время, когда реки полностью переходят на подземное питание, наблюдается низкая водность (межень). Доля зимнего стока уменьшается с северо-запада на юго-восток, как в Предуралье, так и в Зауралье (табл. 5.4).

Таблица 5.4

*Средние значения сезонного стока за расчетный период 1968–2003 гг.  
(в % от годового)*

Река – пост	Природная зона	Весна	Лето – осень	Зима
		IV–V	VI–X	XI–III
р. Сим – Миньяр	горно-лесная	51,3	31,3	17,5
р. Уфа – Нязепетровск	горно-лесная	55,5	31,6	12,9
р. Ай – Лаклы	горно-лесная	51,1	36,1	12,8
р. Ай – Златоуст	горно-лесная	52,5	35,9	11,6
р. Ай – Веселовка	горно-лесная	54,7	34,9	10,3
р. Юрюзань – Вязовая	горно-лесная	52,4	39,1	8,5
р. Юрюзань – Екатериновка	горно-лесная	51,4	41,2	7,4
р. Уй – Плодопитомник	лесостепная	68,6	22,5	8,9
р. Синара – В. Ключевское	лесостепная	56,6	30,2	13,2
р. Увелька – Карсинский	лесостепная	60,4	22,6	16,9
р. Увелька – Красносельское	лесостепная	63,1	27,2	9,7
р. Карталыаят – Карталы	степная	68,9	20,7	10,4
р. Уй – Степное	степная	63,8	29,8	6,5
р. Урал – Верхнеуральск	степная	56,7	35,0	8,3
р. Урал – Кизильское	степная	63,0	27,8	9,2
р. Гумбейка – Наваринский	степная	80,2	13,1	6,7
р. Б. Караганка – Измайловский	степная	80,2	9,8	8,2

Самым многоводным месяцем является апрель, в течение которого проходит от  $20\text{--}30\%$  годового стока в Предуралье и  $40\text{--}75\%$  в Зауралье. В маловодные месяцы (февраль и март), доля стока изменяется от  $1$  до  $2\%$  в Предуралье и от  $1$  до  $6\%$  в Зауралье от годового стока (табл. 5.5).

Во внутригодовом распределении стока наблюдается превышение доли весенних месяцев, причем показатели увеличиваются по территории с северо-запада на юго-восток, что связано с усилением сухости климата. В районах с достаточным увлажнением сток половодья превосходит сток зимней межени в  $20\text{--}30$  раз, а в южной засушливой части – в  $100\text{--}150$  раз (табл. 5.5).

Из сопоставления наибольших и наименьших величин стока следует, что максимальные среднемесячные модули превышают минималь-

ные в десятки раз (рис. 5.5). При этом наибольшая амплитуда колебания модулей наблюдается весной и летом, а наименьшая осенью и зимой.

Распределение внутригодового стока зависит от водности года, которая рассчитывалась по формуле (4.14). В качестве примера, приведено внутригодовое распределение стока рек в годы с различной водности. Анализ показал, что сток рек весенних месяцев в многоводные годы составляет в основном, меньшую долю от года, чем в маловодные. В летне-осенний период доля стока рек изменяется в соответствии с водностью года – это особенно характерно для рек Предуралья. По мере увеличения засушливости территории наблюдается уменьшение удельного веса летне-осеннего стока в многоводные годы. Изменение доли стока зимних месяцев в годы разной водности незначительно, но в многоводные она у большинства рек все-таки больше, чем в маловодные годы (Приложение 2, табл. 5.6).

Таблица 5.5

*Распределение среднего стока  
за расчетный период 1968–2003 гг. (% от годового)*

Природная зона Река – пост		Весна		Лето – осень						Зима			
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
горно-лесная	р. Сим – Миньяр	27,1	24,2	8,1	5,9	4,5	5,3	7,5	5,9	3,7	2,9	2,4	2,6
	р. Уфа – Нязепетровск	29,1	26,4	8,2	6,7	5,3	5,0	6,4	4,5	2,4	1,8	1,8	2,4
	р. Ай – Лаклы	28,7	22,4	8,8	8,3	7,2	5,5	6,3	4,1	2,4	1,9	1,9	2,4
	р. Ай – Златоуст	26,1	26,4	8,8	9,0	7,3	5,2	5,7	3,7	2,3	1,8	1,6	2,1
	р. Ай – Веселовка	26,6	28,1	9,1	8,0	5,3	5,1	7,4	4,2	2,1	1,4	1,2	1,3
	р. Юрюзань – Вязовая	26,3	26,0	9,8	10,3	6,3	5,7	6,9	3,8	1,7	1,1	0,9	1,2
	р. Юрюзань – Екатериновка	21,7	29,7	11,7	10,1	6,9	6,0	6,6	3,6	1,3	0,9	0,7	0,9
лесостепная	р. Уй – Плодопитомник	55,0	13,6	6,1	5,7	4,0	3,2	3,4	2,5	1,5	1,1	1,0	2,9
	р. Синара – В. Ключевское	40,9	15,7	7,5	6,6	5,1	5,1	5,9	4,0	2,5	2,2	2,0	2,5
	р. Увелька – Карсинский	52,3	8,1	4,8	4,4	5,2	4,0	4,1	3,3	2,3	2,0	1,8	7,6
	р. Увелька – Красносельское	53,3	9,7	5,3	5,7	5,5	5,2	5,5	3,4	1,7	1,2	1,1	2,3
степная	р. Каргалыаят – Каргалы	47,8	21,2	7,4	6,2	3,1	1,9	2,0	2,0	0,9	0,7	0,7	6,1
	р. Уй – Степное	48,0	15,8	8,3	7,9	5,9	3,7	4,0	2,8	1,1	0,6	0,6	1,3
	р. Урал – Верхнеуральск	28,5	28,3	10,9	8,9	6,6	3,9	4,8	3,2	1,7	1,2	1,0	1,2
	р. Урал – Кизильское	38,8	24,2	8,2	6,7	5,4	3,4	4,0	2,9	1,8	1,4	1,2	1,9
	р. Гумбейка – Наваринский	68,8	11,4	2,7	2,2	2,3	2,3	3,7	2,3	1,7	1,1	0,9	0,8
	р. Б. Караганка – Измайловский	74,6	7,4	2,6	2,4	1,6	1,4	1,9	1,8	0,7	0,4	0,1	5,2

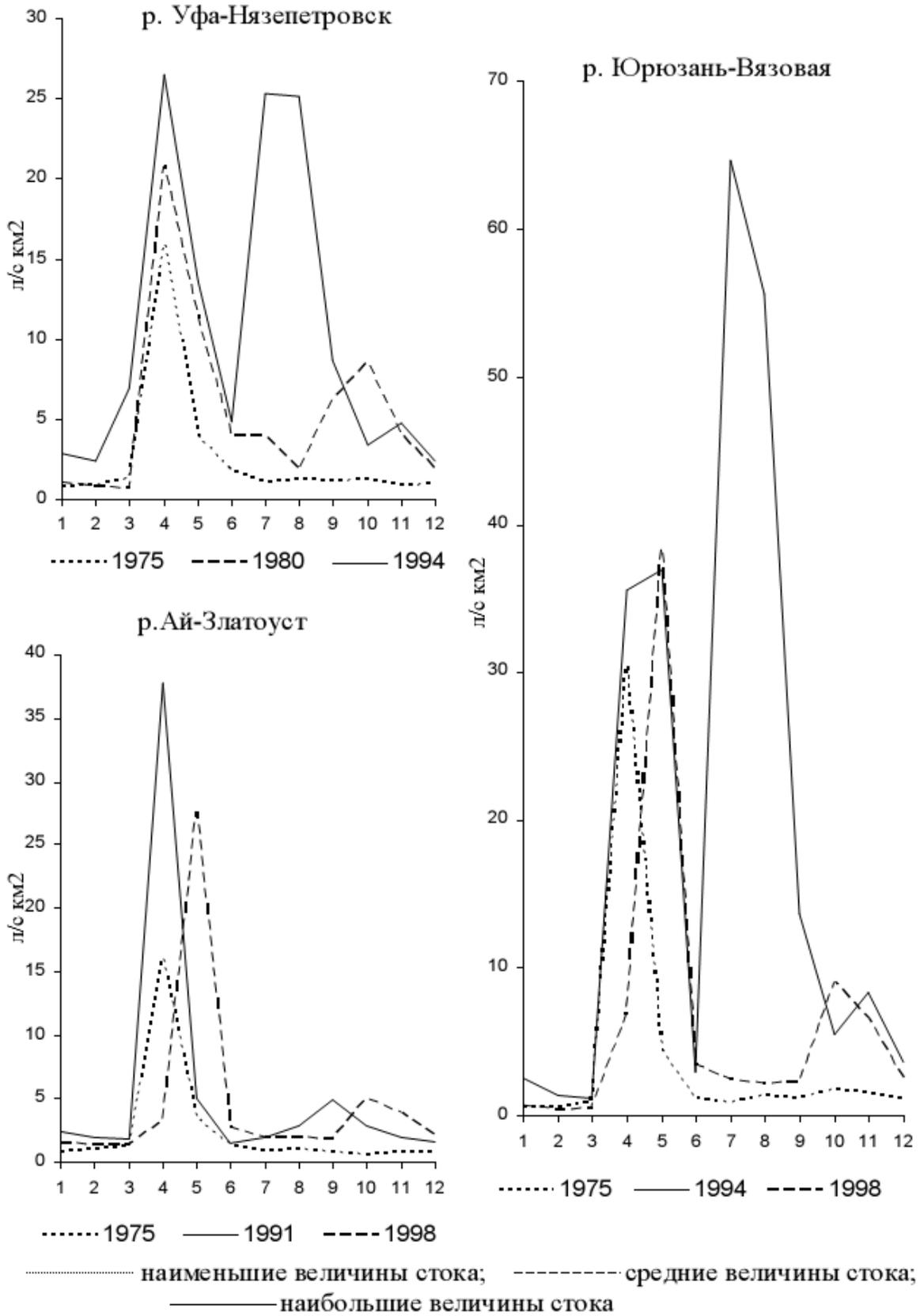
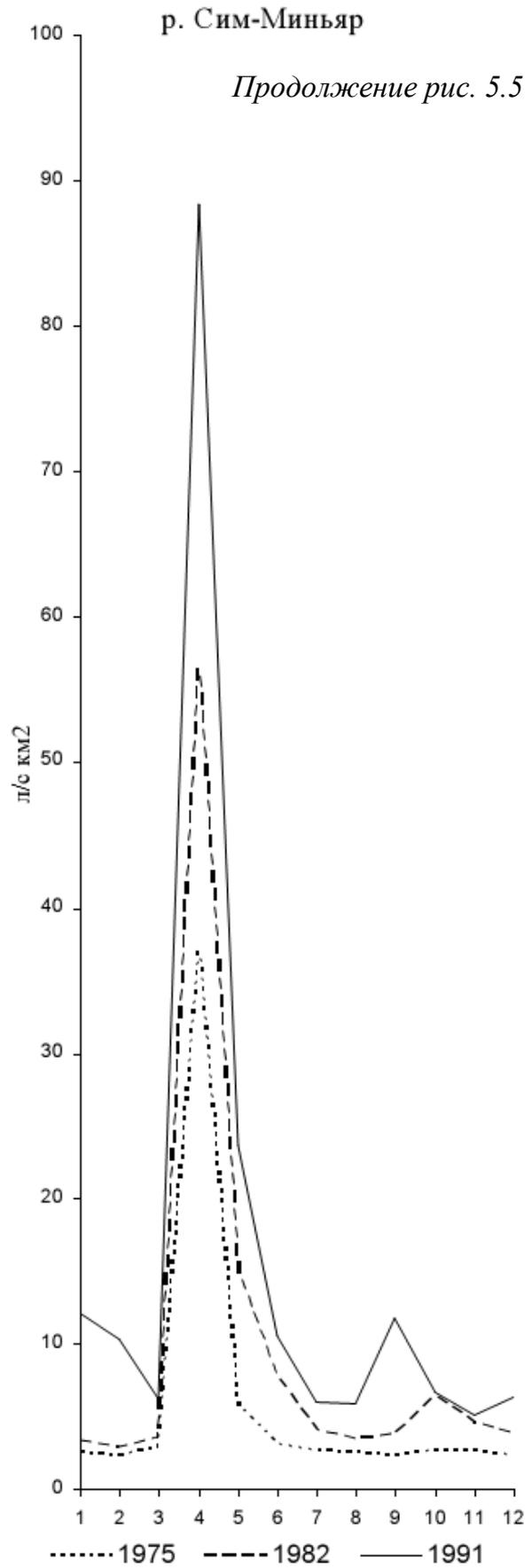
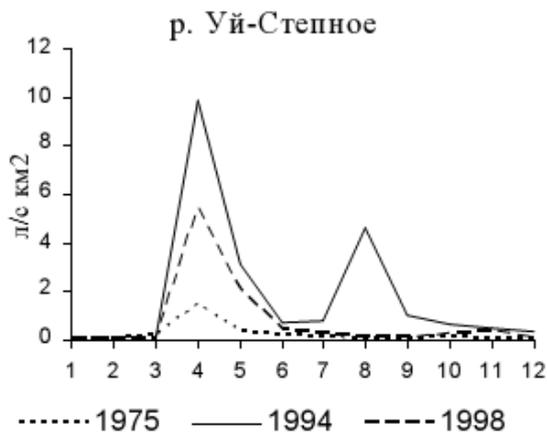


Рис. 5.5. Внутригодовое распределение среднего месячного стока (л/с км<sup>2</sup>)



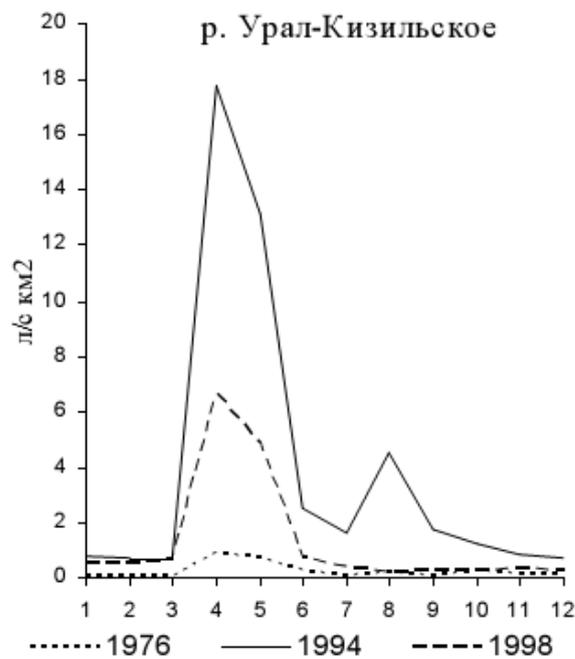
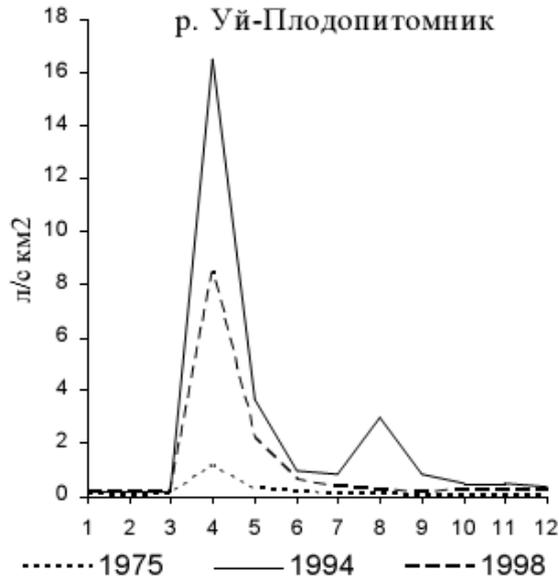


Таблица 5.6

Внутригодовое распределение стока в годы различной водности ( $P_{m, \%}$ ) в процентах от года

Водность года	Река – пост	Природная зона	Год	$P_{m, \%}$	Месяцы											
					I	II	III	IV	V	IV	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Очень маловодный год	р. Ай – Златоуст	Горно-лесная	1975	97,1	2,9	3,7	4,5	55,1	11,7	4,9	3,3	3,3	2,9	2,0	2,8	2,9
	р. Увелька – Красносельское	Лесостепная	1975	97,5	0,8	0,9	2,9	40,1	13,3	7,6	5,1	4,2	4,7	13,5	4,7	2,3
	р. Урал – Верхнеуральск	Степная	1975	98,5	0,6	0,1	1,3	67,8	18,1	4,3	2,0	1,2	1,7	1,6	0,9	0,4
Маловодный год	р. Ай – Златоуст	Горно-лесная	1992	76,8	2,3	2,1	2,1	35,7	20,3	7,3	5,4	8,4	5,7	3,9	3,9	3,0
	р. Увелька – Красносельское	Лесостепная	1995	75,0	2,9	2,7	18,2	33,3	9,8	6,2	4,4	2,8	4,4	6,1	6,2	2,9
	р. Урал – Верхнеуральск	Степная	1998	76,5	2,0	1,1	1,4	34,5	46,1	5,0	1,9	1,4	1,3	1,6	2,0	1,8
Средний по водности год	р. Ай – Златоуст	Горно-лесная	1999	39,1	1,6	1,6	2,2	28,9	14,6	6,1	13,2	9,3	6,1	7,7	5,5	3,2
	р. Увелька – Красносельское	Лесостепная	1999	45,0	1,2	1,0	1,0	40,5	6,9	4,4	8,7	11,5	8,7	7,6	6,1	2,4
	р. Урал – Верхнеуральск	Степная	1999	54,4	1,4	1,5	1,6	18,5	16,5	3,3	15,5	17,9	4,0	7,6	7,8	4,3
Многоводный год	р. Ай – Златоуст	Горно-лесная	2001	20,3	1,5	1,3	2,1	35,0	12,3	8,5	5,0	2,5	9,3	13,4	6,6	2,5
	р. Увелька – Красносельское	Лесостепная	2003	20,0	2,0	1,8	1,7	58,0	11,3	6,7	4,2	2,7	3,6	3,5	2,6	1,8
	р. Урал – Верхнеуральск	Степная	1994	19,1	3,0	3,2	3,7	25,1	27,9	4,1	4,5	12,5	5,7	3,6	3,5	3,0
Очень многоводный год	р. Ай – Златоуст	Горно-лесная	1994	11,6	1,5	1,2	1,3	18,4	15,9	2,5	16,4	27,6	7,1	3,1	2,9	2,2
	р. Увелька – Красносельское	Лесостепная	1994	7,5	1,0	0,8	0,6	50,2	5,1	2,5	8,5	17,2	6,5	4,1	2,4	1,3
	р. Урал – Верхнеуральск	Степная	2000	7,4	1,4	0,8	0,8	29,2	23,6	11,0	20,5	4,4	2,5	3,3	1,6	0,8

Водность рек на исследуемой территории проявляется по-разному в многоводные и маловодные годы. В южных районах различия модулей стока резко возрастают (р. Урал, р. Гумбейка), чем на реках западных и северных районов области (р. Уфа, р. Юрюзань). Среднемесячные максимальные модули превосходят среднемесячные минимальные в северо-западных районах в десятки раз (10–20), в южных районах даже в сотни (30–130 и более) раз (табл. 5.7).

Результаты таблицы показывают, что соотношение максимального и минимального стока рек подвержено изменению. Изменчивость водного режима возрастает в юго-восточном направлении (табл. 5.8).

Анализ табл. 5.8 показал, что наибольшее увеличение коэффициентов вариации сезонного стока наблюдается в летне-осенний период. Это вызвано тем, что увеличение летне-осеннего стока, особенно для многоводных лет, во много раз превосходит сток этого сезона маловодных лет. Амплитуда колебаний сезонного стока увеличивается в юго-восточном направлении и наблюдается увеличение  $C_v$  (с 0,25 до 0,35 – весной; 0,42–0,62 – летом-осенью; 0,38–0,60 – зимой) в Предуралье и  $C_v$  (с 0,60 до 0,92 – весной; 0,65–1,19 – летом-осенью; 0,43–1,68 – зимой) в Зауралье.

Площадь водосбора оказывает существенное влияние на сезонный сток. Построенные зависимости показывают, что наиболее тесной связью сезонного стока ( $\bar{Q}$  м<sup>3</sup>/сек) с площадью водосбора ( $F$ , км<sup>2</sup>) обладают реки Предуралья, чем Зауралья (рис. 5.6). В весенний период зависимость более выражена, чем в зимний период. Сопоставление показывает, что в Предуралье и в Зауралье существуют разнообразные условия формирования сезонного стока.

С увеличением площади водосбора увеличивается продолжительность и уменьшается резкость весеннего половодья и дождевых паводков. По мере усиления сухости климата, наблюдается пересыхание рек в отдельные годы, с незначительными площадями водосбора. Так как небольшие летние осадки целиком испаряются и не дают стока. В годы с сухим летне-осенним периодом и суровой зимой наблюдается промерзание рек с незначительными водосборами, например, р. Карталыаят – Карталы (табл. 5.7).

Таким образом, формирование сезонного стока складывается под воздействием целого ряда природных факторов. Среди них, климатический фактор определяет характер питания рек области, которое в основном осуществляется снеговыми водами. Доля снегового питания увеличивается в юго-восточном направлении, а дождевого наоборот уменьшается, что связано с усилением сухости климата. Поскольку характер питания рек определяется в основном, метеорологическими факторами, где наибольшую роль играет количество выпавших осадков на протяжении года. Поэтому далее приводится характеристика их режима и влияние на сезонный речной сток.

Таблица 5.7

Соотношение среднемесячного максимального  
и минимального стока рек  $\left(\frac{q_{max}}{q_{min}}\right)$  за период 1968–2003 гг.

Река – пост	F км <sup>2</sup>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Сим – Миньяр	1810	5,8	5,8	5,3	10,8	14,7	10,8	10,9	12,7	17,5	14,6	14,5	6,6
р. Уфа – Нязелетровск	3560	13,0	12,0	11,3	16,4	13,7	18,5	31,8	36,3	26,3	32,8	29,0	15,3
р. Ай – Веселовка	586	14,4	31,5	11,5	24,7	19,0	26,2	51,7	40,2	16,6	14,5	9,3	6,3
р. Юрюзань – Вязовая	2430	91,0	10,9	12,4	10,0	16,8	35,0	75,5	39,9	23,8	13,9	6,0	8,3
р. Юрюзань – Екатериновка	1740	7,5	8,8	13,2	6,4	14,0	23,8	29,9	19,3	11,2	10,1	7,8	5,7
р. Уй – Плодопитомник	7660	–	–	–	28,8	22,6	32,0	45,5	80,0	99,0	100,0	85,9	–
р. Синара – В. Ключевское	5000	11,6	13,7	32,3	19,1	18,8	11,2	19,4	19,3	17,1	19,1	15,7	10,6
р. Миасс – Новоандреевка	1830	3,7	47,9	24,6	15,4	10,6	17,4	19,8	27,6	14,6	7,5	6,0	5,1
р. Увелька – Красносельское	3620	59,5	–	–	20,6	18,0	22,6	18,8	46,7	17,7	8,5	13,8	15,0
р. Каргальяяг– Карталы	659	–	–	–	40,8	59,5	39,3	56,3	–	–	–	–	–
р. Уй – Степное	3600	–	–	–	47,7	28,9	33,3	112,1	137,5	109,5	45,4	64,4	–
р. Урал – Верхне- уральск	2650	–	–	–	20,0	26,5	41,4	129,6	118,1	43,9	60,9	53,2	81,0

Таблица 5.8

Коэффициенты вариации ( $C_v$ ) сезонного стока рек

Река-пункт	Прир. зона	Период наблюдений (лет)	Весна		Лето-осень		Зима	
			$C_v$	$\delta_{C_v}$ (%)	$C_v$	$\delta_{C_v}$ (%)	$C_v$	$\delta_{C_v}$ (%)
р. Юрюзань – Вязовая	горно-лесная зона	1936–2003 (68)	0,27	8,88	0,61	10,04	0,36	9,10
р. Юрюзань – Екатериновка		1936–2003 (68)	0,28	8,91	0,59	9,95	0,35	9,08
р. Сим – Миньяр		1968–2003 (36)	0,25	12,32	0,42	12,97	0,38	12,80
р. Уфа – Нязепетровск		1968–2003 (36)	0,33	12,41	0,60	13,75	0,62	13,89
р. Ай – Златоуст		1936–2003 (68)	0,35	9,09	0,63	10,13	0,27	8,89
р. Ай – Веселовка		1936–2003 (68)	0,34	12,46	0,60	13,76	0,35	12,47
р. Миасс – Новоандреевка	лесостепная зона	1968–2003 (36)	0,47	9,54	0,65	10,29	0,43	9,42
р. Уй – Плодопитомник		1936–2003 (68)	0,71	10,52	0,97	11,96	0,83	11,16
р. Синара – Верхне-Ключевское		1936–1991 (56)	0,62	11,10	0,66	11,33	0,50	10,54
р. Увелька – Карсинский	степная зона	1968–2003 (36)	0,63	13,92	0,58	13,61	0,57	13,55
р. Увелька – Красносельское		1968–2003 (36)	0,56	13,52	0,51	13,20	0,59	13,66
р. Уй – Степное		1936–2003 (68)	0,70	10,46	0,98	11,99	0,78	10,87
р. Каргалы – Аят-Каргалы		1968–2003 (36)	0,78	14,92	0,79	15,03	1,02	16,87
р. Урал – Верхнеуральск		1936–2003 (68)	0,56	9,84	0,82	11,11	0,69	10,43
р. Урал – Кизильское		1936–2003 (68)	0,81	11,04	0,93	11,72	0,69	10,40
р. Гумбейка – Наваринский	1968–2003 (36)	0,72	14,71	1,19	18,59	0,70	14,62	
р. Б. Караганка – Измайловский		1968–2003 (36)	1,16	18,30	0,82	15,48	1,55	22,03

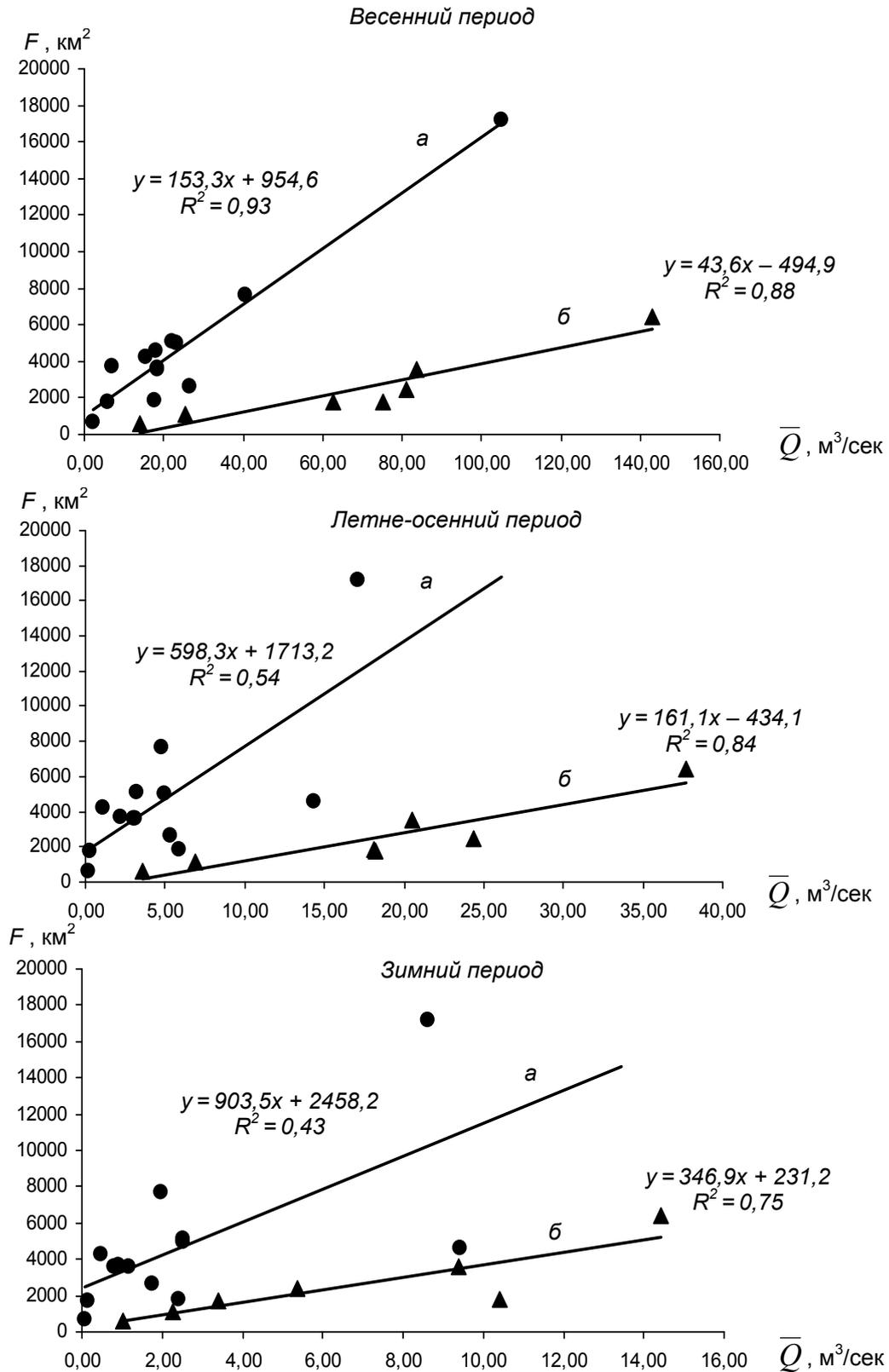


Рис. 5.6. Связь сезонного стока рек ( $\bar{Q}$ , м<sup>3</sup>/сек) с площадью их водосборов ( $F$ , км<sup>2</sup>):  
 а – Предуралья, б – Завралья

### 5.3. Сезонный режим осадков и его влияние на сезонный сток рек

Атмосферные осадки оказывают решающее влияние на формирование речного стока. Поэтому исследование особенностей их режима и распределения на территории Челябинской области является необходимым этапом при изучении условий формирования сезонного речного стока.

Анализу осадков, с учетом природных особенностей посвящены многие работы: А.С. Шкляев, Л.А. Быкова (1960), А.С. Шкляев (1964), М.В. Муравейская (1974), А.Я. Румянцева (1988) и др. В этих работах выявлены особенности распределения осадков и установлена их зависимость от особенностей географического положения и орографического строения территории Урала. Данное исследование касается только пределов Челябинской области, которая расположена в нескольких природных зонах.

Для анализа сезонного режима осадков исследовались их количественные характеристики. Для этой цели использовались данные по 17 метеостанциям равномерно расположенным по территории Челябинской области с 1936 по 2003 годы.

При определении границ сезонов, учитывался, тот факт, что в межсезонные периоды сложно определить их границы. Например, в весенние осадки, выпавшие в первую декаду апреля, можно отнести к зимним, так как они участвуют в формировании паводкового стока. Поэтому при проведении исследований были приняты границы периодов с округлением до месяца и с учетом гидрологических сезонов: весенний период – апрель-май, летне-осенний период – июнь-октябрь, зимний – ноябрь-март.

Распределение атмосферных осадков на рассматриваемой территории носит сложный характер и определяется, главным образом, особенностями атмосферной циркуляции и рельефом.

Для оценки характера многолетних сезонных колебаний выпадения осадков применялся метод разностных интегральных кривых. Кривые были построены по метеостанциям равномерно расположенным на территории области (рис. 5.7 а, б, в, г).

Анализ разностных интегральных кривых показал, что многолетний ход годовых и осадков летне-осеннего сезона по всем исследуемым станциям близок. Так как большая часть осадков выпадает в летне-осенний период и это отражается на годовых суммах. Многолетний ход колебания осадков весеннего и зимнего сезонов в целом различен, т. е. несинхронен с ходом годовых осадков и осадков летне-осеннего периода, а в ряде случаев отмечается даже противоположный ход осадков весеннего и зимнего сезонов. Это свидетельствует о наличии асинхронности в сезонном ходе осадков весеннего и зимнего сезонов.

Для оценки степени синхронности колебаний сезонных и годовых осадков применялся корреляционный метод. По метеостанциям были вычислены коэффициенты корреляции между осадками года – и осадками весеннего периода, года – летне-осеннего и зимнего периодов и их среднеквадратичные ошибки (табл. 5.9).

Таблица 5.9

*Коэффициенты корреляции ( $r$ ) годовых и сезонных осадков  
и их вероятные ошибки ( $\delta_r$ )*

Метеостанция	Прир. зона	$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$
		год-весен. период	год-весен. период	год-летн- осен. период	год- летн-осен. период	год-зимний период	год-зимний период
Кропачево	горно-лесная	0,41	0,11	0,82	0,04	0,47	0,11
Катав – Ивановск		0,10	0,17	0,89	0,03	0,50	0,13
Златоуст		0,21	0,12	0,90	0,02	0,49	0,09
Нязепетровск		0,28	0,12	0,89	0,03	0,62	0,08
Верхний Уфалей		0,34	0,11	0,87	0,03	0,47	0,10
Миасс		0,42	0,10	0,92	0,02	0,30	0,11
Аргаяш	лесостепная	0,41	0,10	0,90	0,02	0,43	0,10
Челябинск		0,58	0,08	0,86	0,03	0,46	0,10
Южноуральск		0,54	0,09	0,88	0,03	0,46	0,10
Октябрьское		0,62	0,09	0,86	0,04	0,52	0,10
Троицк		0,48	0,09	0,84	0,04	0,46	0,10
Магнитогорск	степная	0,40	0,10	0,88	0,03	0,35	0,11
Варненский з/с		0,54	0,11	0,84	0,04	0,41	0,12
Карталы		0,50	0,09	0,82	0,04	0,47	0,10
Бреды		0,47	0,09	0,80	0,40	0,59	0,08

Из анализа коэффициентов корреляции следует, что при сопоставлении годовых и сезонных осадков зависимость более выражена в Предуралье, в летне-осенний период (0,92–0,82,  $\delta_r = 0,02–0,04$ ), по мере засушливости территории связь ослабевает. Так как большое влияние оказывают осадки летне-осеннего периода на годовые суммы. Значительно меньшие величины коэффициентов корреляции присущи осадкам года – весеннего и зимнего периодов. Уменьшение тесноты связи между указанными характеристиками осадков вызвано наличием несинхронности, а в ряде случаев зеркальности в ходе этих характеристик, что заметно на разностных интегральных кривых (рис. 5.7 а–г). Коэффициенты корреляции осадков года –

весеннего и зимнего сезонов по территории изменяются в пределах 0,6–0,2 ( $\delta_r = 0,08–0,12$ ), что свидетельствует об отсутствии связи между осадками. Это позволяет сделать вывод о наличии асинхронности в сезонном ходе осадков года – весеннего и зимнего сезонов.

Важным фактором формирования стока весеннего сезона являются осадки, выпавшие в течение зимнего периода, состоящие в основном из максимальных запасов воды в снежном покрове. Поэтому в работе рассматривается характер связи между весенним стоком и атмосферными осадками. Для более объективной количественной оценки характера взаимосвязи весеннего стока и количества осадков зимнего и весеннего сезонов использовался метод корреляционного анализа, который пока зал наличие связи зимних, весенних осадков и весеннего стока (табл. 5.10).

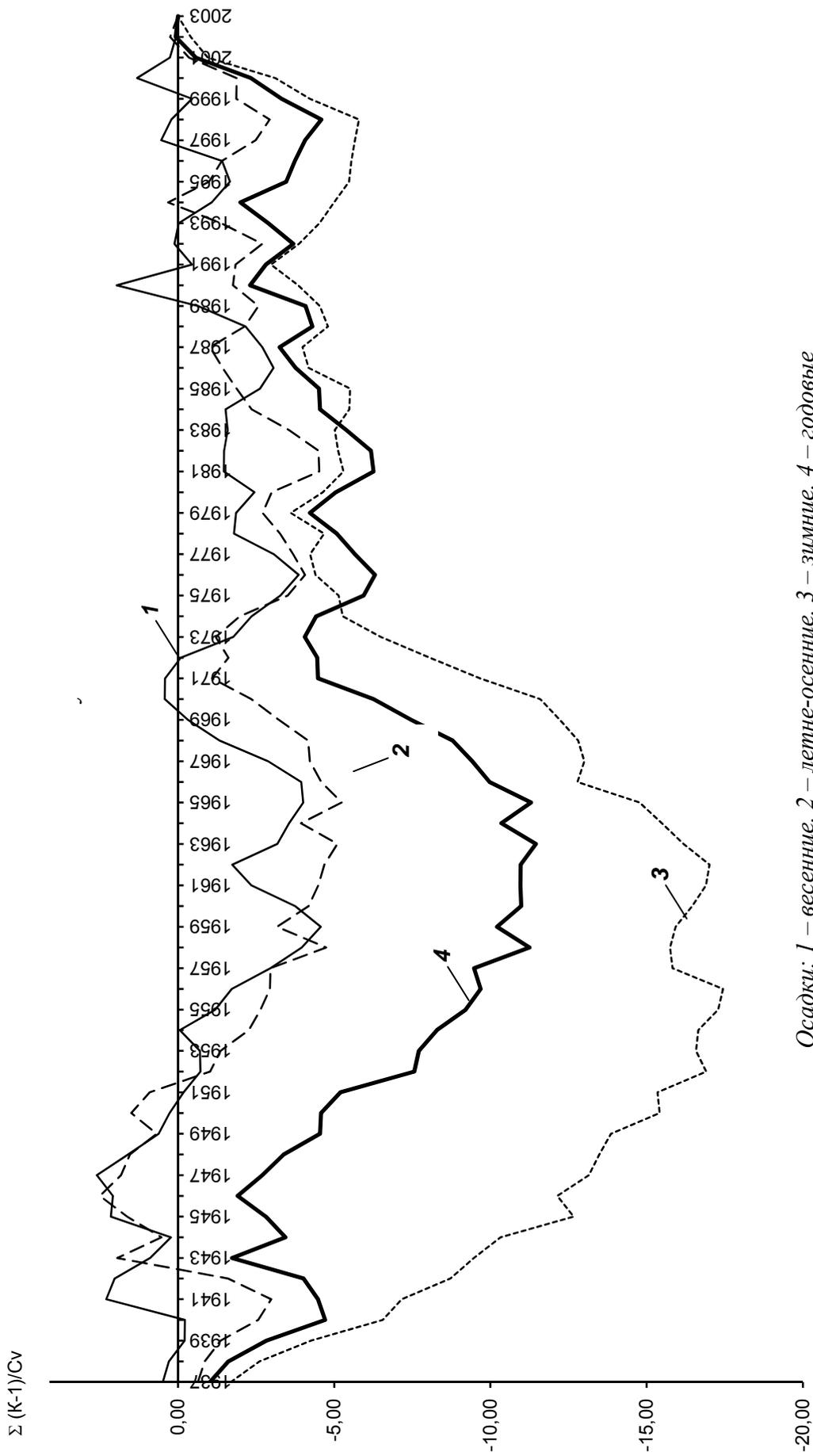
Из анализа табл. 5.10 следует, что между весенним стоком и суммой осадков зимнего и весеннего периода существует определенная связь, которая ярче выражена в Предуралье, чем в Зауралье. Из этого следует, что выпавшие в зимний сезон в виде снега осадки участвуют в формировании речного стока весеннего периода. Причиной ослабления связи стока и осадков на юге Зауралья (степная зона), связано с тем, что часть выпавших осадков идет на испарение.

Таблица 5.10

*Коэффициенты корреляции ( $r$ ) суммы зимних и весенних осадков ( $X$ ) и модуля весеннего стока ( $q$ )*

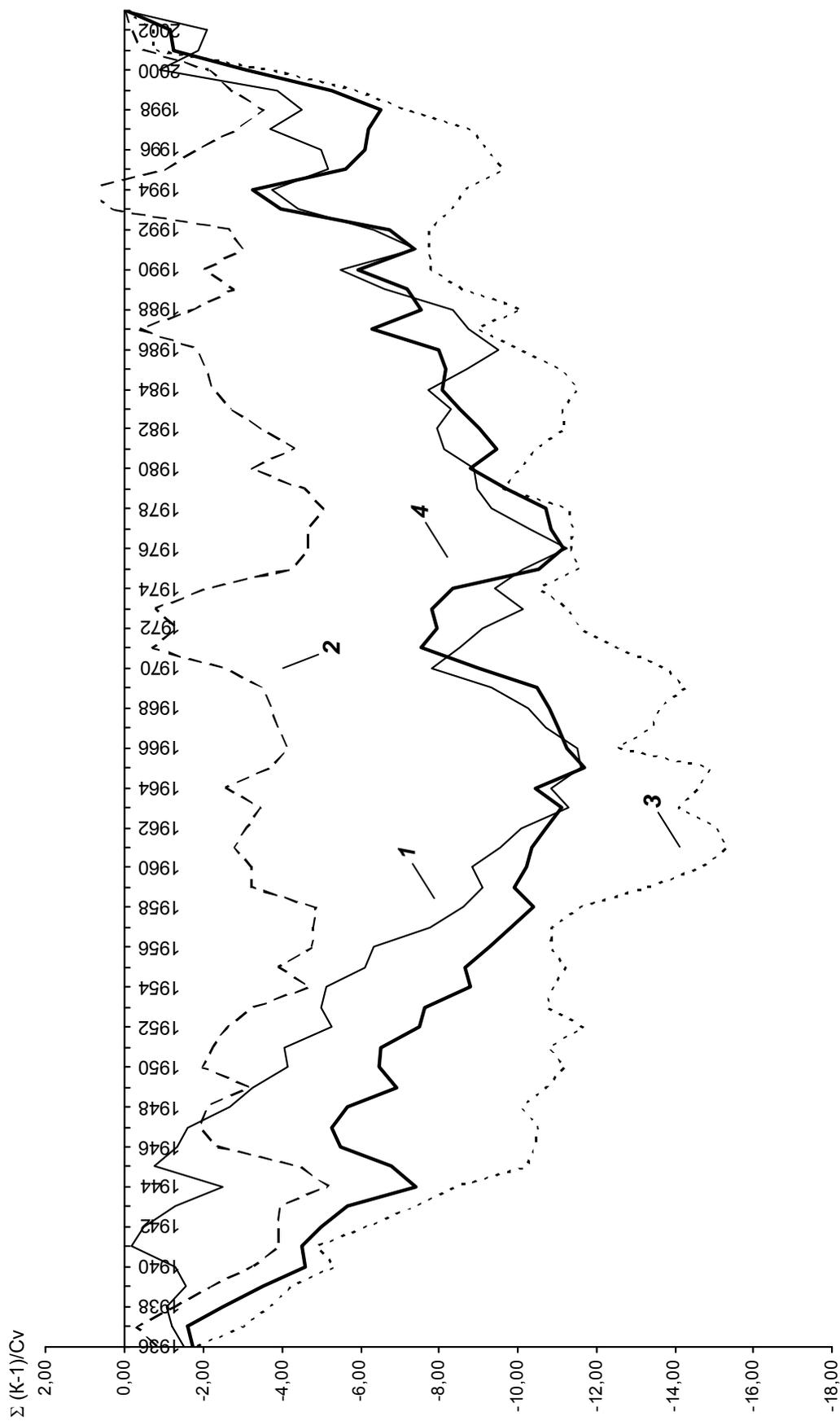
Метеостанция (м/с) – Река – пост	Природная зона	$r$ $X_{XI-V} - q_{IV-V}$	$\delta_r$
м/с Катав – Ивановск р. Юрюзань – Екатериновка	горно-лесная	0,80	0,06
м/с Златоуст р. Ай – Златоуст	горно-лесная	0,75	0,07
м/с Троицк р. Уй – Плодопитомник	лесостепная	0,65	0,10
м/с Верхнеуральск р. Урал – Верхнеуральск	степная	0,60	0,12
м/с Карталы р. Карталыаят – Карталы	степная	0,35	0,15

Приведенные данные показывают, что взаимосвязь зимних и весенних осадков и весеннего стока, ярче проявляется в Предуралье ( $r=0,75–0,80$ ;  $\delta_r = 0,06–0,07$ ), чем в Зауралье. При выяснении причин ослабления такой связи в южном направлении в необходимо учесть испарившиеся осадки, а также геологические и почвенные особенности района.



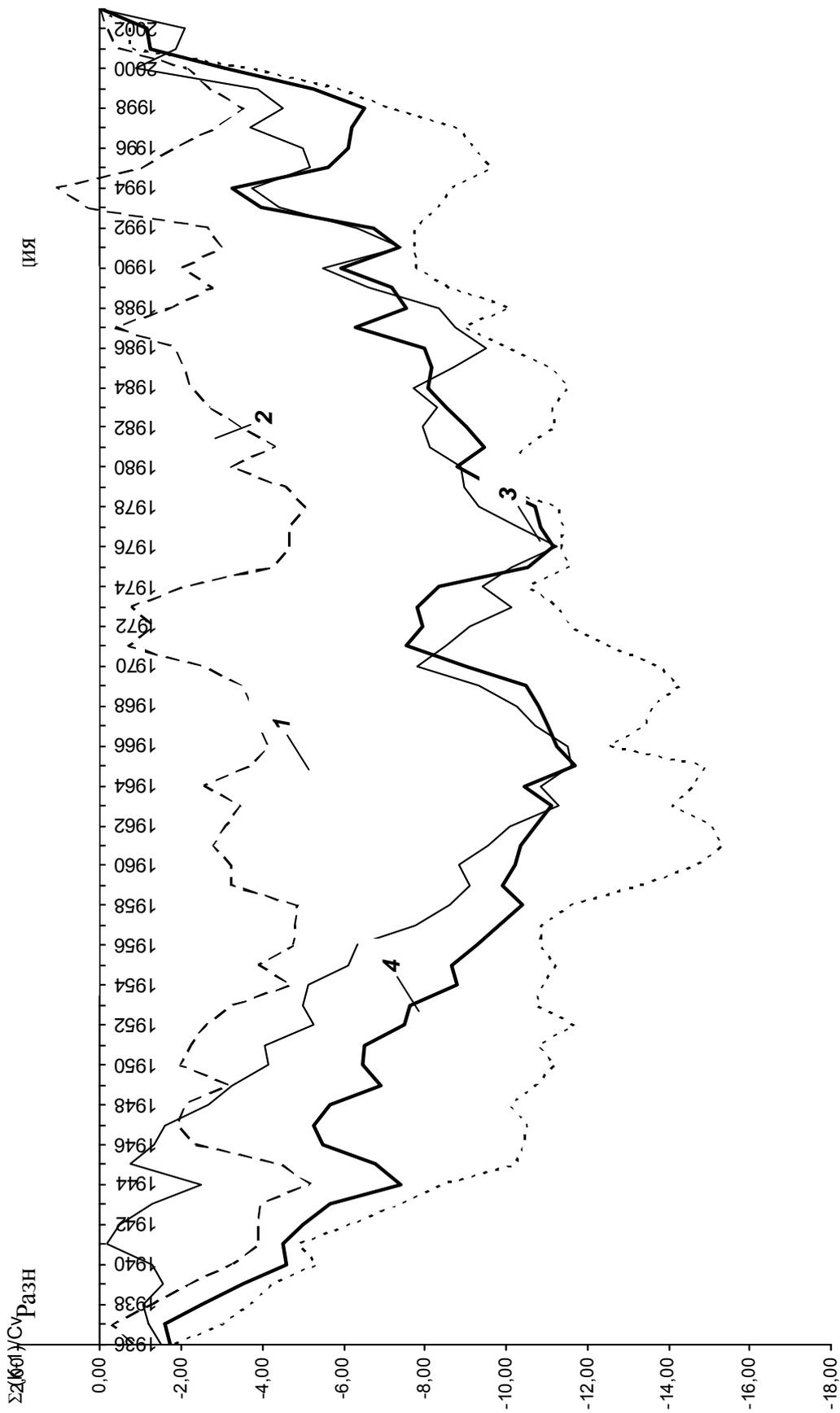
Осадки: 1 – весенние, 2 – летне-осенние, 3 – зимние, 4 – годовые  
по метеостанции Златоуст (горно-лесная зона)

Рис. 5.7 а. Нормированные разностные интегральные кривые сезонных и годовых сумм осадков



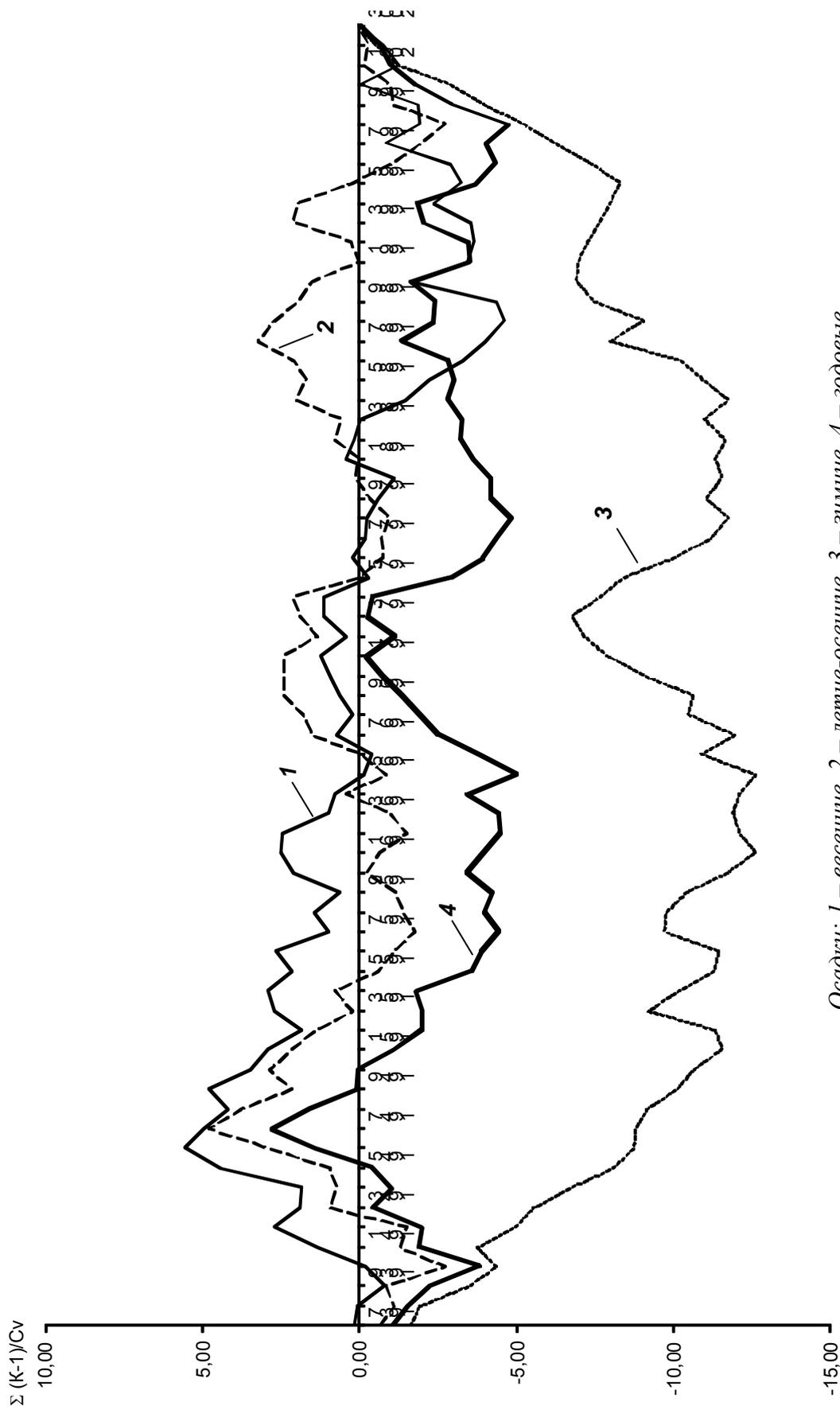
Осадки: 1 – весенние, 2 – летне-осенние, 3 – зимние, 4 – годовые  
по метеостанции Челябинск (лесостепная зона)

Рис. 5.7 б. Нормированные разностные интегральные кривые сезонных и годовых сумм осадков



Осадки: 1 – весенние, 2 – летне-осенние, 3 – зимние, 4 – годовые  
по метеостанции Бреды (степная зона)

Рис. 5.7 в. Нормированные разностные интегральные кривые сезонных и годовых сумм осадков



Осадки: 1 – весение, 2 – летне-осенние, 3 – зимние, 4 – годовые  
по метеостанции Магнитогорск (степная зона)

Рис. 5.7 г. Нормированные разностные интегральные кривые сезонных и годовых сумм осадков

На характер зависимостей и тесноту связи осадков и стока оказывают влияние многочисленные факторы. В литературе (Кузин, 1955; Комаров, 1955, 1959; Балков, 1959; Мокляк, 1965; Методические указания ..., 1986; Владимиров, 1990; В.М. Евстигнеев, 1990 и др.) достаточно подробно дается теоретический анализ влияния на объем весеннего стока осеннего увлажнения, снеготаяния и осадков, выпавших в период снеготаяния.

Большое влияние на характер весны оказывает температурный режим, от которого зависит интенсивность снеготаяния и, следовательно, величина потерь стока. Исследуя зависимость температуры воздуха в апреле от повторяемости типов атмосферной циркуляции А.С. Шкляев (1964) показал, что при активизации процессов  $W$  устанавливается адвективный или плювиальный тип весны, с редкими вторжениями арктического воздуха – зависимость температуры апреля от повторяемости формы прямая; при процессах  $E$  тип весны соларный с отрицательными температурами воздуха в ночное время – зависимость температуры воздуха в апреле от повторяемости формы  $E$  – обратная.

Кроме того, значительное влияние на формирование половодья оказывают температура и дефицит влажности воздуха весеннего периода и периода осеннего увлажнения (Субботин, 1966, 1978; Крестовский, 1979 и др.). Еще одним немаловажным фактором, способным в значительной мере определить величину весеннего стока является глубина промерзания почв водосбора, которую можно оценить по температуре воздуха за холодный период (Комлев, 1973).

Как уже было отмечено, наибольшее количество сезонных осадков выпадает в летне-осенний период, что отражается на стоке рек. Величина стока летне-осеннего сезона и ее колебание в различные годы зависит от многочисленных факторов, основными из которых является сумма атмосферных осадков, поступающих на водосбор в течение сезона, испарение с поверхности водосбора, запас воды в почве и водоносных горизонтах. Среди работ, посвященных анализу формирования летне-осеннего стока, следует выделить авторов: А.М. Норватова, 1956; В.С. Баранова, 1963; А.М. Владимирова, 1966, 1970; И.С. Шахова, А.С. Шкляева, 1969; О.Л. Ведерникову, 1985 и др.

Следует отметить, что между меженным и паводочным стоком существуют большие различия. Меженный сток осуществляется за счет грунтового питания, а на сток всего летне-осеннего сезона, наряду с грунтовыми водами, большое влияние оказывают дождевое. В задачу исследования входит установление связи между атмосферными осадками и стоком летне-осеннего сезона в календарных границах.

Исследования показали, что летне-осенний сток находится в прямой зависимости от осадков летне-осеннего периода. Для более деталь-

ного исследования рассчитывались коэффициенты корреляции сезонного стока и осадков (табл. 5.11).

Анализ табл. 5.11 показывает, что максимальная взаимосвязь отмечается в летне-осенний период у рек Предуралья ( $r = 0,80$ ;  $\delta_r = 0,06$ ), с усилением сухости климата отмечается ослабление связи на юге Зауралья. В отдельных районах зависимость летне-осеннего стока от осадков уменьшается, что связано с природными особенностями района – потерей осадков на испарение. На этот факт оказывают влияние еще ряд причин: запас воды в почве и водоносных горизонтах, заозерность территории и т. д. Таким образом, сток летне-осеннего сезона определяется в основном суммой летне-осенних осадков.

Таблица 5.11

*Коэффициенты корреляции ( $r$ ) суммы осадков летне-осеннего сезона ( $X$  мм) и стока рек ( $q$  л/с км<sup>2</sup>) этого периода*

Метеостанция (м/с) Река – пост	Природная зона	$r$ $X_{VI-X} - q_{VI-X}$	$\delta_r$
м/с Катав – Ивановск р. Юрюзань – Екатериновка	горно-лесная	0,80	0,06
м/с Златоуст р. Ай – Златоуст	горно-лесная	0,80	0,06
м/с Нязепетровск р. Уфа – Нязепетровск	горно-лесная	0,70	0,09
м/с Южноуральск р. Увелька – Красносельское	лесостепная	0,69	0,10
м/с Троицк р. Уй – Плодопитомник	лесостепная	0,40	0,14
м/с Верхнеуральск р. Урал – Верхнеуральск	степная	0,59	0,12
м/с Карталы р. Карталыаят – Карталы	степная	0,38	0,14

Таким образом, особенности формирования и распределения осадков на территории области обусловлены совокупным воздействием атмосферной циркуляции и разнообразными местными орографическими условиями. Проведенный анализ показал, что основным фактором формирования стока весеннего сезона являются осадки, выпавшие за зимний период. Причем коэффициенты корреляции уменьшаются в юго-восточном направлении, максимально обнаруженная связь ( $r = 0,75 - 0,80$ ;  $\delta_r = 0,06 - 0,07$ ) на реках протекающих в горно-лесной зоне Преду-

ралья, а минимальная в степном Зауралье ( $r=0,38$ ;  $\delta_r=0,15$ ). Так как наибольшее количество осадков выпадает в летне-осенний сезон 80 % от годовой суммы осадков, такая особенность существенно влияет на гидрологический режим рек области. Расчеты показали, что из всех анализируемых данных максимально обнаруженная связь отмечается в этот период ( $r=0,84$ ;  $\delta_r=0,05$ ). Вызвано это тем, что максимум осадков выпадает в летне-осенний период, а дождевое питание является основным. Уменьшение связей зимних осадков – весеннего стока, летне-осенних осадков и стока этого периода связано со многими причинами: с потерей осадков на испарение, наличием карстовых пород и т. д. В результате сложного взаимодействия факторов формирования стока, степень влияния которых по территории не одинакова и зависит от конкретной природной среды, определяет характер сезонного стока рек. Далее рассматриваются особенности многолетних колебаний сезонного стока рек Челябинской области.

Реки Челябинской области протекают своими верховьями и относятся в основном к незначительным рекам (исходя из классификации А.В. Огиевского). Наибольшее количество рек протекающих на исследуемой территории относятся к Камскому бассейну, а по охватываемой площади водосбора к Тобольскому. Наиболее густая речная сеть наблюдается в Предуралье, а разреженная, в засушливых степных районах области и в бассейнах сложенных закарстованными породами. Разнообразие конфигураций речных систем характерно для рек горно-лесной зоны области.

Питания рек, в основном осуществляется снеговыми водами. Доля снегового питания увеличивается в юго-восточном направлении, а дождевого наоборот уменьшается.

Доля весеннего стока рек уменьшается с юго-востока на северо-запад. В горно-лесных районах сток весеннего половодья составляет 60 % от годового, на реках лесостепного Зауралья его доля увеличивается до 70 %, а на реках степной зоны превышает 80 %. В летне-осеннее время величины стока резко снижаются, по сравнению, с весенним периодом. Если его величина в Предуралье уменьшается в два раза по сравнению с весенним и составляет приблизительно 30 % от годовой суммы, то в Зауралье – более трех раз ( $\approx 20$  % от годовой суммы), а на юге области – более восьми раз (менее 10 % от годовой суммы). В зимнее время доля зимнего стока уменьшается с северо-запада на юго-восток, как в Предуралье, так и в Зауралье.

Самым многоводным месяцем является апрель, в течение которого проходит от 20–30 % годового стока в Предуралье и 40–75 % в Заура-

лье. В маловодные месяцы (февраль и март), доля стока изменяется от 1 до 2 % в Предуралье и от 1 до 6 % в Зауралье от годового стока.

Распределение внутригодового стока зависит от водности года. Сток рек весенних месяцев в многоводные годы составляет, в основном, меньшую долю от года, чем в маловодные. В летне-осенний период доля стока рек изменяется в соответствии с водностью года – это особенно характерно для рек Предуралья. По мере увеличения засушливости территории наблюдается уменьшение удельного веса летне-осеннего стока в многоводные годы. Изменение доли стока зимних месяцев в годы разной водности незначительно, но в многоводные она у большинства рек все-таки больше, чем в маловодные годы.

Изменчивость водного режима возрастает в юго-восточном направлении. Наибольшее увеличение коэффициентов вариации сезонного стока наблюдается в летне-осенний период.

Атмосферные осадки оказывают решающее влияние на формирование речного стока. Многолетний ход колебания осадков весеннего и зимнего сезонов несинхронен с ходом годовых осадков и осадков летне-осеннего периода, а в ряде случаев отмечается даже противоположный ход.

При сопоставлении годовых и сезонных осадков зависимость более выражена в Предуралье, в летне-осенний период ( $0,92-0,82$ ;  $\delta_r = 0,02 - 0,04$ ), по мере засушливости территории связь ослабевает. Значительно меньшие величины коэффициентов корреляции присущи осадкам года – весеннего и зимнего периодов. Уменьшение тесноты связи между указанными характеристиками осадков вызвано наличием несинхронности. Коэффициенты корреляции осадков года – весеннего и зимнего сезонов по территории изменяются в пределах  $0,6-0,2$  ( $\delta_r = 0,08 - 0,12$ ), что свидетельствует об отсутствии связи между осадками.

Основным фактором формирования стока весеннего сезона являются осадки, выпавшие за зимний период. Причем коэффициенты корреляции уменьшаются в юго-восточном направлении. Максимально обнаруженная связь ( $r=0,75 - 0,80$ ;  $\delta_r = 0,06 - 0,07$ ) на реках протекающих в горно-лесной зоне Предуралья, а минимальная в степном Зауралье ( $r=0,38$ ;  $\delta_r = 0,15$ ). Так как наибольшее количество осадков выпадает в летне-осенний сезон 80 % от годовой суммы осадков, такая особенность существенно влияет на гидрологический режим рек области. Максимально обнаруженная связь отмечается в этот период ( $r=0,84$ ;  $\delta_r = 0,05$ ).

## ГЛАВА 6. МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК

### 6.1. Исследование ритмичности сезонного стока рек Челябинской области

Многолетний характер сезонного стока подвержен колебаниям и определяется всей совокупностью природных условий. Этот вопрос рассматривался во многих работах. В этих исследованиях можно выделить целый ряд направлений. Одно из них связано с исследованиями вероятных величин колебаний стока во времени и пространстве; другое – с изучением вековых и внутри вековых колебаний в целях выявления ритмов, т. е. группировок многоводных или маловодных лет, их повторяемости и продолжительности, а так же выявления районов синхронного и асинхронного колебания стока; третье – направленно на исследование связи между колебаниями стока и гелиофизическими процессами (ритмы солнечной активности, атмосферная циркуляция и т. д.). При всем этом значительная часть работ посвящена рассмотрению колебаний годового стока. Среди авторов следует отметить: Л.К. Давыдова (1947), П.С. Кузина (1953, 1970), В.Г. Андреянова (1959), Т.Н. Кочукову (1955), Н.В. Сомова (1963), А.С. Шкляева (1964, 1967), И.П. Дружинина (1966, 1967, 1970, 1991), А.И. Давыдову, Г.П. Калинина (1967), Н.П. Смирнова (1973, 1975), Э.И. Саруханяна, Н.П. Смирнова (1971), Д.Я. Ратковича (1976), В.А. Румянцева, И.В. Бовыкина (1985), А.В. Рождественского, В.А. Лобанова (1988), Е.А. Леонова, В.Е. Леонова (1990), Н.С. Рассказову (1992, 2003), О.Г. Савичева (2003), Н. Jontiirk, O. Bayar (1968) и др. Большинство авторов считают, что ритмичность – это неотъемлемая закономерность географической оболочки Земли. Причиной, вызывающей в ней ритмические колебания являются ритмы космоса. Космические ритмы порождают на Земле колебания себе подобные, а производные ритмы, являющиеся их интерференцией – случайные колебания.

Вообще, относительно причин формирования ритмичности в колебаниях природных процессов на Земле существуют различные и весьма противоречивые точки зрения, среди которых наиболее распространены три следующие.

Одни исследователи считают, что ритмичность – это следствие влияния внешних космо-геофизических сил, например солнечной ак-

тивности, приливообразующих сил системы Солнце – Земля – Луна, некоторых характеристик движения Земли и др., изменения которых носят ритмический характер (Дружинин, Коноваленко, Кукушкина 1966; Афанасьев, 1967; Саруханян, Смирнов, 1971 и др.).

Другие (Сергин, 1968; Яковлева, 1965 и др.) рассматривают ритмичность, как следствие автоколебательных процессов в системе Атмосфера – гидросфера Земли.

По мнению третьих (Алехин, 1969; Картвелишвили, 1967, 1973; Yevievich, 1961, 1965; Korganova, Kartvelishvili, 1971 и др.), ритмичность есть естественное свойство любой случайной последовательности.

Современные исследования определенно точно показывают, что ритмические колебания существуют практически во всех природных явлениях и обусловлены воздействием глобальных факторов земного и внеземного происхождения. Большое внимание этому вопросу уделено в работах Е.В. Максимова (1972, 1977, 1995). Исходя из его исследований, следует, что приливные силы Луны и Солнца действуют на поверхность Мирового океана, заставляя ритмически пульсировать океанические течения (Фуцока, 1959). Пульсация последних, порождает изменения в общем переносе тепла и влаги на Земле. В итоге возникают сложные ритмические колебания климата и вод суши.

Таким образом, ритмичность гидрологических явлений очень сложна и многоступенчата. Основной целью данного исследования являлось изучение особенностей многолетней ритмичности сезонного стока рек Челябинской области.

Для выявления ритмов сезонного стока рек исследуемой территории в качестве основного, применялся математический метод «Фурье – анализ», реализованный в ИС-технологии «Природа» (Н.С. Рассказова, 2003). Для подтверждения результатов использовались дополнительные методы: разностных интегральных кривых и скользящего осреднения. Были вычислены длительность ритмов, их процентные значимости и амплитуды колебаний гармонических составляющих, подтверждающих достоверность существования ритмов колебаний. Ведущие ритмы в сезонном стоке рек Челябинской области представлены табл. 6.1.

Количество ритмов или гармонических составляющих, при разложении ряда наблюдений в ряд Фурье равно половине его длины ряда. Поэтому из значительного количества гармонических составляющих выявлены ритмы, вносящие наибольший вклад в общую дисперсию признака, составляющую 100 % ( $D_{общ} = 100\%$ ). Количество ведущих ритмов отбиралось таким образом, чтобы их суммарный вклад составлял от 40 до 80 %. В представленной табл. 6.1, для каждого гидрологического поста на реке приводятся наиболее значимые ритмы, из расчета, что их сумма должна быть не менее 30 %. Про-

должительность ритмов выражена в годах. Длительность ритмов получается дробной, т. е. как бы расплывается между двумя смежными вариациями. Это свидетельствует о том, что ритмы непостоянны во времени. В числителе – указана значимость каждого ритма в процентах от общей дисперсии признака, в знаменателе – амплитуды их колебаний, подтверждающие достоверность существования ритмов. Количество ритмов или гармонических составляющих при разложении ряда наблюдений в ряд Фурье равно половине его длины ряда. В связи с этим, авторами на основе анализа показателей ритмов (значимости, амплитуд) выбраны ведущие ритмы.

Ритмы, выявленные в многолетних колебаниях сезонного стока, проявляются по-разному по территории Челябинской области. Сила их проявления не одинакова и изменяется от истока к устью.

Анализ характеристик ритмов: продолжительности, повторяемости и их амплитуды показал, что ведущими являются вариации с продолжительностью: 2–4, 6–8, 11–14, 17–18, 22–23 года. При этом указанные ритмы свойственны всем сезонам года. Реальность их существования в природе подтверждена многими учеными: Э.И. Саруханяном, И.В. Максимовым, Н.П. Смирновым, 1970; И.П. Дружининым, 1991; Н.С. Рассказовой, 1992, 2003; Земцов, 2003; Савичев, 2003 и др.

По мнению исследователей, ритм продолжительностью 2–4 года является характерной особенностью общей циркуляции слоев атмосферы и связан с проникновением в нее стратосферных ветров. На природу ритмов длительностью от 5 до 8 лет существует несколько точек зрения. Часто 5–8-летний ритм разделяют два ритма 5–6 и 7–8 лет. 5–6-летний ритм называют ритмом Эйгенсона и связывают с солнечной деятельностью. Вариация длительностью 7–8 лет рассматривается исследователями как результат воздействия на океан и атмосферу силы деформации, возникающей вследствие свободных колебаний оси вращения земли. Ритмы колебаний с длительностью 11–14 лет, известны сегодня как космические (присущие космическим телам – Солнцу, звездам, планетам). 17–18-летний считается результатом влияния на гидросферу приливообразующей силы Луны и Солнца. Ритмы 22–23 года связывают со сменой полярности солнечных пятен.

В весенний период для рек Камского бассейна ведущие ритмы составили – 3–4 и 18 лет, у рек Тобольского бассейна – 7–8, 13–14 и 18 лет, Урала – 2–3, 7–8, 13–14 лет. В летне-осенний период наибольшую повторяемость имеют ритмы на реках Камского бассейна – 3–4, 7–8 лет, Тобольского бассейна – 6–7, 17–18, 22–23 года, Урала – 6–7, 17–18, 22–23 года. В зимнюю межень самыми распространенными ритмами для рек Камского бассейна являются: 6–7, 13–14, 17–18 лет, Тобольского – 6–7, 13–14, 17–18 лет, Урала – 3–4, 6–7, 11–14 лет. Существование выше указанных ритмов, в качестве примера, приведено на рис. 6.1.

Таблица 6.1

Ведущие ритмы сезонного стока рек Челябинской области за различные периоды наблюдения

Река-пост	Период наблюдения и кол-во лет	Бассейн	Продолжительность (в годах) и значимость ритмов колебания от общей дисперсии $D_{\text{общ.}}\%$ (в числителе) и амплитуды колебаний А (в знаменателе)														$\Sigma D_{\text{общ.}}\%$
			1		2		3		4		5		6		7		
			ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	ГОД	$\frac{D, \%}{A_m}$	
Весенний период																	
р. Уй – Степное	1936–2003 (68)	Тобол	13,6	$\frac{11}{0,46}$	7,6	$\frac{9}{0,43}$	11,3	$\frac{6}{0,36}$	22,6	$\frac{5}{0,32}$	9,7	$\frac{5}{0,32}$	5,6	$\frac{5}{0,33}$	5,2	$\frac{5}{0,33}$	46
р. Уй – Плодопитомник	1936–2003 (68)		13,6	$\frac{13}{0,51}$	7,6	$\frac{10}{0,45}$	3,1	$\frac{7}{0,37}$	4,8	$\frac{6}{0,35}$	11,3	$\frac{5}{0,31}$	5,6	$\frac{5}{0,32}$	2,2	$\frac{5}{0,30}$	51
р. Синара – В. Ключевское	1936–2003 (68)		7,7	$\frac{15}{0,55}$	4,9	$\frac{9}{0,42}$	13,5	$\frac{8}{0,40}$	9,0	$\frac{5}{0,32}$	5,4	$\frac{5}{0,32}$	2,6	$\frac{5}{0,32}$	2,7	$\frac{5}{0,31}$	53
р. Увелька – Карсинский	1968–2003 (36)		18,0	$\frac{21}{0,65}$	7,2	$\frac{17}{0,58}$	3,3	$\frac{13}{0,52}$	2,1	$\frac{12}{0,49}$	2,3	$\frac{6}{0,36}$	9,0	$\frac{5}{0,33}$	3,0	$\frac{5}{0,31}$	79
р. Увелька – Красносельское	1968–2003 (36)		18,0	$\frac{21}{0,65}$	3,3	$\frac{13}{0,52}$	7,2	$\frac{12}{0,50}$	2,1	$\frac{12}{0,48}$	9,0	$\frac{10}{0,44}$	3,0	$\frac{7}{0,38}$	2,8	$\frac{3}{0,26}$	78
р. Каргалыаят – Каргалы	1968–2003 (36)		18,0	$\frac{19}{0,61}$	2,1	$\frac{15}{0,55}$	7,2	$\frac{8}{0,41}$	12,0	$\frac{6}{0,33}$	5,1	$\frac{6}{0,35}$	4,5	$\frac{6}{0,36}$	4,0	$\frac{6}{0,35}$	66
р. Сим – Миньяр	1968–2003 (36)		9,0	$\frac{16}{0,57}$	2,6	$\frac{12}{0,50}$	4,0	$\frac{9}{0,41}$	5,1	$\frac{8}{0,41}$	2,4	$\frac{6}{0,35}$	2,3	$\frac{6}{0,35}$	12,0	$\frac{5}{0,32}$	62
р. Уфа – Нязелетровск	1968–2003 (36)		18,0	$\frac{16}{0,56}$	9,0	$\frac{16}{0,56}$	2,0	$\frac{10}{0,44}$	7,2	$\frac{8}{0,41}$	2,3	$\frac{8}{0,40}$	4,0	$\frac{5}{0,31}$	3,3	$\frac{5}{0,33}$	68
р. Ай – Лаклы	1936–2003 (68)	22,0	$\frac{13}{0,51}$	2,8	$\frac{11}{0,46}$	2,6	$\frac{11}{0,46}$	7,3	$\frac{7}{0,37}$	3,1	$\frac{7}{0,38}$	6,3	$\frac{6}{0,36}$	2,2	$\frac{6}{0,33}$	61	
Кама																	

Продолжение табл. 6.1

Река-пост	Бассейн	Период наблюдения и кол-во лет	1		2		3		4		5		6		7		$\Sigma D_{out}$ (%)
			9,7	$\frac{12}{0,49}$	13,6	$\frac{10}{0,43}$	4,0	$\frac{8}{0,40}$	3,2	$\frac{7}{0,38}$	22,7	$\frac{6}{0,35}$	6,2	$\frac{6}{0,36}$	11,3	$\frac{5}{0,32}$	
р. Ай – Злагоуст		1936–2003 (68)	18,0	$\frac{17}{0,58}$	4,0	$\frac{15}{0,55}$	9,0	$\frac{11}{0,46}$	3,3	$\frac{8}{0,41}$	7,2	$\frac{5}{0,31}$	2,1	$\frac{5}{0,32}$	68		
р. Ай – Веселовка		1936–2003 (68)	4,0	$\frac{12}{0,48}$	6,2	$\frac{11}{0,46}$	22,7	$\frac{8}{0,40}$	9,7	$\frac{8}{0,40}$	3,8	$\frac{5}{0,32}$	3,1	$\frac{5}{0,31}$	55		
р. Юрюзань – Вязовая		1936–2003 (68)	4,0	$\frac{13}{0,52}$	6,2	$\frac{10}{0,45}$	22,7	$\frac{7}{0,37}$	13,6	$\frac{6}{0,35}$	3,8	$\frac{5}{0,31}$	3,2	$\frac{5}{0,33}$	52		
р. Урал – Верхнеуральск	Урал	1936–2003 (68)	13,6	$\frac{12}{0,50}$	11,3	$\frac{11}{0,47}$	22,7	$\frac{7}{0,37}$	7,6	$\frac{5}{0,31}$	4,0	$\frac{5}{0,31}$	9,7	$\frac{4}{0,28}$	49		
р. Урал – Кизильское		1936–2003 (68)	13,6	$\frac{11}{0,48}$	7,6	$\frac{11}{0,47}$	11,3	$\frac{6}{0,35}$	5,7	$\frac{6}{0,34}$	22,7	$\frac{6}{0,35}$	6,2	$\frac{5}{0,30}$	50		
р. Гумбейка – Наваринский		1968–2003 (36)	2,1	$\frac{23}{0,67}$	7,2	$\frac{15}{0,55}$	4,0	$\frac{9}{0,42}$	18,0	$\frac{8}{0,41}$	19,0	$\frac{7}{0,38}$	3,3	$\frac{5}{0,31}$	72		
Летне-осенний период																	
р. Уй – Степное	Тобол	1936–2003 (68)	22,6	$\frac{13}{0,50}$	17,0	$\frac{10}{0,45}$	4,3	$\frac{5}{0,31}$	3,6	$\frac{5}{0,32}$	3,2	$\frac{5}{0,33}$	3,0	$\frac{4}{0,33}$	47		
р. Уй – Плодопитомник		1936–2003 (68)	17,0	$\frac{13}{0,50}$	22,6	$\frac{11}{0,45}$	13,6	$\frac{6}{0,34}$	3,0	$\frac{6}{0,34}$	3,6	$\frac{5}{0,31}$	3,4	$\frac{5}{0,30}$	51		
р. Синара – В. Ключевское		1936–2003 (68)	13,5	$\frac{14}{0,52}$	27,0	$\frac{12}{0,48}$	18,0	$\frac{11}{0,46}$	10,8	$\frac{8}{0,40}$	4,5	$\frac{5}{0,32}$	4,9	$\frac{5}{0,31}$	60		

Продолжение табл. 6.1

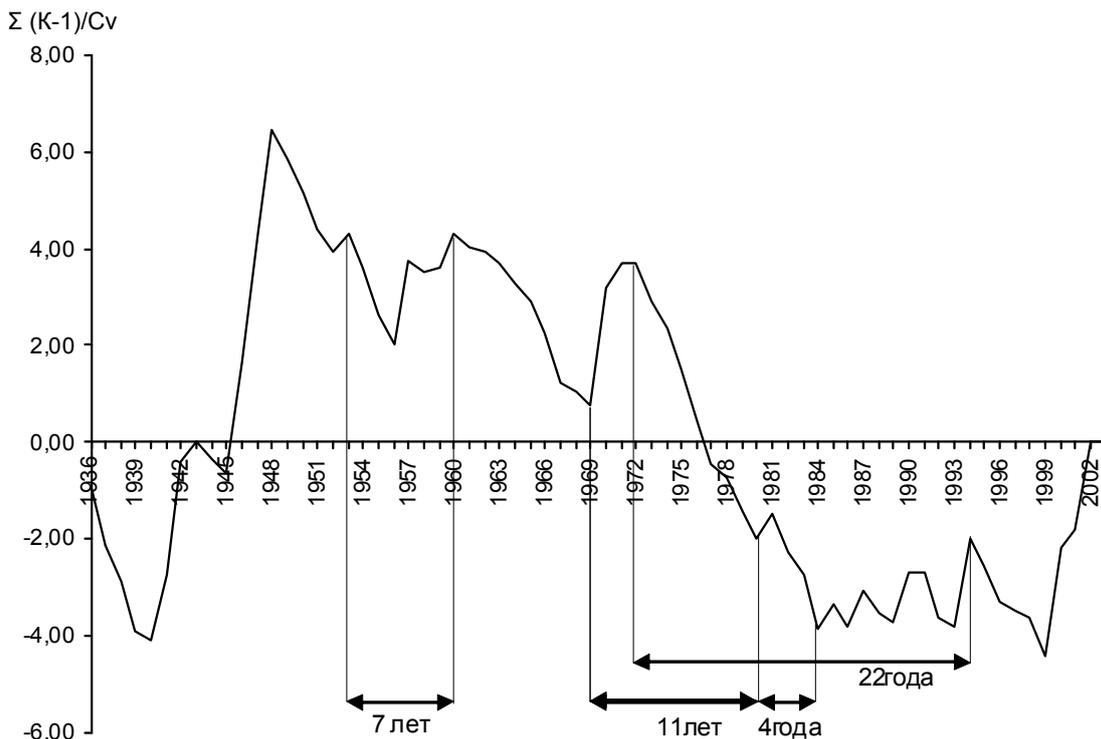
Река-пост	Период наблюдения и кол-во лет	1		2		3		4		5		6		7		$\Sigma D_{out}$ (%)
		6,0	$\frac{22}{0,66}$	18,0	$\frac{17}{0,59}$	5,1	$\frac{15}{0,56}$	7,2	$\frac{10}{0,44}$	3,3	$\frac{7}{0,37}$	3,0	$\frac{4}{0,29}$	2,3	$\frac{4}{0,29}$	
Бассейн	р. Увелька – Карсинский	6,0	$\frac{22}{0,66}$	18,0	$\frac{17}{0,59}$	5,1	$\frac{15}{0,56}$	7,2	$\frac{10}{0,44}$	3,3	$\frac{7}{0,37}$	3,0	$\frac{4}{0,29}$	2,3	$\frac{4}{0,29}$	79
	р. Увелька – Красносельское	7,2	$\frac{21}{0,65}$	3,3	$\frac{10}{0,45}$	18,0	$\frac{8}{0,41}$	6,0	$\frac{8}{0,40}$	5,1	$\frac{7}{0,36}$	2,3	$\frac{6}{0,35}$	2,8	$\frac{4}{0,27}$	64
	р. Каргалыяг – Каргалы	7,2	$\frac{15}{0,54}$	9,0	$\frac{12}{0,48}$	3,3	$\frac{11}{0,46}$	12,0	$\frac{7}{0,37}$	3,6	$\frac{7}{0,37}$	18,0	$\frac{6}{0,33}$	6,0	$\frac{6}{0,34}$	64
Кама	р. Сим – Миньяр	7,2	$\frac{19}{0,61}$	4,0	$\frac{9}{0,42}$	3,6	$\frac{9}{0,42}$	18,0	$\frac{7}{0,37}$	9,0	$\frac{6}{0,35}$	3,3	$\frac{6}{0,36}$	12,0	$\frac{5}{0,30}$	61
	р. Уфа – Нязелетровск	7,2	$\frac{21}{0,64}$	3,6	$\frac{10}{0,44}$	18,0	$\frac{9}{0,42}$	9,0	$\frac{7}{0,38}$	3,0	$\frac{7}{0,36}$	4,0	$\frac{6}{0,35}$	5,1	$\frac{4}{0,30}$	64
	р. Ай – Лаклы	22,0	$\frac{23}{0,67}$	2,3	$\frac{14}{0,53}$	4,4	$\frac{12}{0,49}$	2,6	$\frac{8}{0,39}$	8,8	$\frac{5}{0,31}$	2,4	$\frac{5}{0,32}$	2,8	$\frac{4}{0,28}$	71
Кама	р. Ай – Златоуст	22,7	$\frac{10}{0,45}$	4,3	$\frac{8}{0,40}$	2,3	$\frac{8}{0,40}$	17,0	$\frac{5}{0,32}$	11,3	$\frac{5}{0,33}$	7,6	$\frac{5}{0,32}$	6,8	$\frac{5}{0,30}$	46
	р. Ай – Веселовка	7,2	$\frac{20}{0,63}$	18,0	$\frac{9}{0,43}$	5,1	$\frac{7}{0,36}$	4,0	$\frac{7}{0,39}$	9,0	$\frac{6}{0,35}$	3,3	$\frac{6}{0,36}$	6,0	$\frac{5}{0,31}$	60
	р. Юрюзань – Вязовая	4,3	$\frac{11}{0,47}$	22,7	$\frac{9}{0,42}$	7,6	$\frac{7}{0,38}$	2,7	$\frac{7}{0,38}$	2,3	$\frac{7}{0,39}$	17,0	$\frac{5}{0,30}$	13,6	$\frac{5}{0,30}$	51
р. Юрюзань – Екатеринбург	4,3	$\frac{11}{0,47}$	22,7	$\frac{7}{0,38}$	7,6	$\frac{7}{0,38}$	2,7	$\frac{7}{0,38}$	2,3	$\frac{7}{0,37}$	17,0	$\frac{5}{0,30}$	9,7	$\frac{5}{0,31}$	49	

Продолжение табл. 6.1

Река-пост	Период наблюдения и кол-во лет	Зимний период							$\Sigma D_{out}$ (в %)
		1	2	3	4	5	6	7	
Бассейн Урал	1936–2003 (68)	22,7 0,55	17,0 0,37	13,6 0,38	4,5 0,31	4,3 0,31	2,3 0,30	11,3 0,29	48
	1936–2003 (68)	17,0 0,43	3,2 0,40	22,7 0,38	13,6 0,34	6,8 0,34	2,1 0,35	4,0 0,33	47
	1965–2002 (38)	6,0 0,42	3,3 0,40	7,2 0,39	9,0 0,35	2,6 0,36	5,1 0,31	2,8 0,32	46
Тобол									
р. Уй – Степное	1936–2003 (68)	13,6 0,53	17,0 0,46	11,3 0,44	6,8 0,43	22,7 0,35	9,7 0,35	3,1 0,33	60
р. Уй – Плодопитомник	1936–2003 (68)	13,6 0,56	17,0 0,47	34,0 0,42	6,8 0,37	6,2 0,38	11,3 0,33	3,4 0,30	61
р. Синара – В. Ключевское	1936–2003 (68)	13,5 0,64	18,0 0,48	10,8 0,41	6,0 0,42	3,6 0,35	6,8 0,30	4,9 0,26	64
р. Увелька – Карсинский	1968–2003 (36)	7,2 0,67	18,0 0,51	4,0 0,44	9 0,43	12,0 0,34	2,3 0,34	3,6 0,29	70
р. Увелька – Красносельское	1968–2003 (36)	6,0 0,63	18,0 0,62	7,2 0,44	7 0,36	12,0 0,33	4,0 0,28	3,0 0,28	69
р. Каргалыаят – Каргалы	1968–2003 (36)	3,6 0,50	2,1 0,47	7,2 0,44	9,0 0,41	3,3 0,39	3,0 0,39	2,3 0,40	65
р. Сим – Миньяр	1968–2003 (36)	6,0 0,47	9,0 0,46	3,6 0,43	2,4 0,38	3,3 0,36	7,2 0,33	5,1 0,28	52

Окончание табл. 6.1

Река-пост	Период наблюдения и кол-во лет	Бассейн							$\Sigma D_{out}$ (%)
		1	2	3	4	5	6	7	
р. Уфа – Нязепетровск	1968–2003 (36)	18,0	16	2,0	7,2	2,3	4,0	3,3	68
		$\frac{16}{0,56}$	$\frac{16}{0,56}$	$\frac{10}{0,44}$	$\frac{8}{0,41}$	$\frac{8}{0,40}$	$\frac{5}{0,31}$	$\frac{5}{0,33}$	
		14,7	13	7,3	22,0	4,4	3,7	5,5	
р. Ай – Лаклы	1936–2003 (68)	17,0	15	13,6	9,7	4,0	22,7	5,7	67
		$\frac{16}{0,57}$	$\frac{15}{0,55}$	$\frac{12}{0,49}$	$\frac{7}{0,38}$	$\frac{7}{0,38}$	$\frac{6}{0,35}$	$\frac{4}{0,28}$	
		14,7	13	7,3	22,0	4,4	3,7	5,5	
р. Ай – Злагоуст	1968–2003 (36)	6,0	14	7,2	4,0	2,6	9,0	4,5	61
		$\frac{17}{0,58}$	$\frac{14}{0,53}$	$\frac{9}{0,43}$	$\frac{7}{0,37}$	$\frac{6}{0,34}$	$\frac{4}{0,28}$	$\frac{4}{0,30}$	
		34,0	12	7,6	5,7	3,0	3,8	9,7	
р. Юрюзань – Вязовая	1936–2003 (68)	34,0	10	7,6	5,7	5,2	3,0	9,7	49
		$\frac{10}{0,44}$	$\frac{9}{0,42}$	$\frac{8}{0,39}$	$\frac{6}{0,36}$	$\frac{6}{0,33}$	$\frac{6}{0,36}$	$\frac{4}{0,30}$	
		34,0	10	7,6	5,7	5,2	3,0	9,7	
р. Урал – Верхнеуральск	1936–2003 (68)	11,3	10	34,0	17,0	13,6	7,6	22,7	59
		$\frac{10}{0,44}$	$\frac{10}{0,44}$	$\frac{9}{0,41}$	$\frac{8}{0,40}$	$\frac{8}{0,39}$	$\frac{8}{0,39}$	$\frac{6}{0,35}$	
		34,0	11	11,3	6,8	4,0	6,2	22,7	
р. Гумбейка – Наваринский	1968–2003 (36)	6,0	8	9,0	5,1	7,2	2,0	12,0	47
		$\frac{11}{0,46}$	$\frac{8}{0,40}$	$\frac{7}{0,38}$	$\frac{7}{0,38}$	$\frac{6}{0,36}$	$\frac{5}{0,30}$	$\frac{3}{0,25}$	
		6,0	8	9,0	5,1	7,2	2,0	12,0	



*Рис. 6.1. Нормированные разностные интегральные кривые модуля весеннего стока р. Урал – Кизильское*

Для лучшей систематизации ведущие ритмы группировались по трем бассейнам рек. В результате чего удалось для каждого бассейна выявить преобладающие ритмы многолетних колебаний сезонного стока рек.

Для выявления закономерностей многолетних колебаний сезонного стока, реки в пределах Челябинской области группировались по трем бассейнам. В результате анализа удалось для каждого бассейна выявить ритмы, преобладающие в многолетних колебаниях сезонного стока рек (табл. 6.2).

Анализ табл. 6.2 показал, что структура сезонных многолетних колебаний величин стока характеризуется следующими закономерностями: Ритм, обладающий наибольшей значимостью в разные сезоны года, характеризуется различной продолжительностью в трех бассейнах рек – Камского, Тобольского, Уральского:

а) В весенний период в сезонном стоке рек всех трех бассейнов наблюдается ритм продолжительностью 18 лет. При этом в бассейне Камы и Тобола он является ведущим, что подтверждает исследования многолетних колебаний годового стока, выполненных Н.С. Рассказовой (2003).

б) В сезонном стоке летне-осеннего периода наряду с повсеместным распространением 17–18-летней вариации, наблюдается устойчивый 22–23-летний ритм (ритм смены полярности солнечных пятен). Для рек бассейна Урала ритм продолжительностью 22–23 года является ведущим.

Таблица 6.2

Основные ритмы многолетних колебаний сезонного стока рек (в годах)

Сезон \ Бассейн	Кама	Тобол	Урал
Весенний период	3–4 18*	7–8 13–14 18*	2–3* 7–8 13–14 18
Летне-осенний период	7–8* 17–18 22–23	6–7 17–18* 22–23	6–7 17–18 22–23*
Зимний период	6–7 13–14 17–18*	6–7 13–14* 17–18	3–4 6–7* 11–14

\* – ритмы, обладающие наибольшей значимостью (ведущие)

в) Для зимнего сезона характерно наличие устойчивого 11–14-летнего солнечно обусловленного ритма, наряду с 17–18 и 6–7 летними ритмами.

Сила проявления ритмов в многолетних колебаниях сезонного стока рек Челябинской области неодинакова и изменяется от истока рек к устью.

Автором выявлены также некоторые тенденции в продолжительности ритмов сезонного стока в различных бассейнах:

а) В весенний период ритмы многолетних колебаний стока рек Камского и Тобольского бассейнов более продолжительны в отличие от рек Уральского бассейна, где наблюдается тенденция к уменьшению их длительности.

б) В летне-осенний период для рек бассейнов Урала и Тобола характерно наличие более продолжительных ритмов по отношению к рекам Камского бассейна.

в) В зимний период для рек области (Камский и Тобольский бассейны) характерно наличие более устойчивых ритмов, по сравнению с реками бассейна Урала.

Таким образом, основные ритмы, проявляемые на территории области не однозначны. Длительность ритмов в основном увеличивается с севера на юг и с запада на восток. Причины таких различий в ритмических колебаниях связаны с особенностями проявления атмосферной циркуляции и другими геофизическими факторами, которые отражаются на колебательных процессах гидрометеорологических процессов и явлений. Это доказано в работах: Э.И. Саруханяна, И.В. Максимова, Н.П. Смирнова 1970; Н.С. Рассказовой, 1992, 2003 и др.

При исследовании ритмических составляющих многолетних колебаний сезонного стока, необходимо рассмотреть их территориальные различия.

В целях подтверждения полученных результатов и установления степени синфазности многолетних колебаний сезонного стока использовались, метод разностных интегральных кривых и метод скользящего осреднения. Анализ результатов исследования подтвердил, в подавляющем большинстве случаев, наличие ритмов, выявленных методом Фурье-анализа. Исследования, выполненные автором, показали, что формирование фаз водности на территории Челябинской области происходит не одновременно. Выявленные различия показаны на примере рек Юрюзань, Уй и представлены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

*Внутригодовые фазы водности рек Предуралья и Зауралья*

Сезон \ Бассейн	Кама		Тобол	
	многоводные	маловодные	многоводные	маловодные
Весенний период	1936–1940	1940–1948	1940–1948 1956–1962 1967–1972	1936–1940 1948–1956 1965–1967 1972–1984 1987–1993 1994–2003
	1948–1956	1956–1958		
	1958–1963	1968–1974		
	1965–1968	1976–1979		
	1974–1976	1985–1987		
	1979–1985	1988–1990		
	1990–1993	1995–1997		
	1997–1999	1999–2001		
Летне-осенний период	1940–1948	1937–1940	1944–1947 1959–1964 1966–1971	1936–1940 1947–1959 1971–1986 1985–1993 1994–2002
	1958–1962	1948–1958		
	1966–1974	1964–1966		
	1982–1986	1971–1982		
	1992–1994	1986–1992 1994–2003		
Зимний период	1936–1941	1944–1948	1936–1946 1948–1958 1965–1967 1971–1979 1990–1994 1995–1998	1945–1948 1958–1965 1967–1971 1979–1990 1998–2002
	1948–1953	1953–1963		
	1963–1970	1970–1973		
	1973–1982	1982–1986		
	1986–1988	1988–1990		
	1990–1993	1993–2002		

Анализ табл. 6.3 показал, что многоводные фазы наступают раньше у рек Камского бассейна. На реках Зауралья они наступают позднее. Причиной разновременного наступления многоводных фаз является неоднородность увлажнения, которая в свою очередь, вызвана орографическими и климатическими особенностями территории. Установлено, что сдвиг фаз

водности составляет в среднем 1–3 года, а в летне-осенний период и более трех лет, что согласуется с другими авторами, например, при исследовании озер Среднего и Южного Урала М.А. Андреевой (1973), годового стока рек бассейна Камы и Тобола Н.С. Рассказовой (2003).

Для определения степени синхронности в многолетних колебаниях сезонного стока рек был произведен расчет парных корреляционных связей. Вычисления производились по 36-летним рядам наблюдения по 17-ти гидрологическим постам равномерно расположенным по территории области. Результаты расчетов представлены в табл. 6.4, 6.5, 6.6.

Из таблиц следует, что коэффициент корреляции сезонного стока изменяется в значительных пределах (максимально обнаруженная связь ( $r = 0,96$ ;  $\delta_r = 0,01$ ). Наибольшая теснота связи сезонного стока характерна для рек расположенных в однотипных природных условиях и в пределах бассейна одной реки. Наибольшей степенью синхронности колебаний стока характеризуется летне-осенний период ( $r = 0,7 - 0,9$ ;  $\delta_r = 0,02 - 0,08$ ). В зимнее время стоку рек области свойственна асинхронность. Коэффициент корреляции между стоком межлетнего периода составляет  $r = 0,7 - 0,3$ ;  $\delta_r = 0,08 - 0,15$ . Вероятной причиной снижения корреляции может быть переход рек на подземное питание. Значительная неоднородность сезонного стока присуща рекам Предуралья и Зауралья. Выявленная асинхронность в режиме рек связана с различием природных условий территории Челябинской области.

Таким образом, выявленные территориальные различия сезонного стока рек определяется общей физико-географической зональностью природных условий. Амплитуда колебания сезонного стока увеличивается с севера на юг. В многолетних колебаниях сезонного стока преобладают ритмы 2–4, 6–8, 11–14, 17–19, 22–23 года, которые свойственны всем сезонам года.

В весенний период для всех рек области характерна различная длительность ритмов. Ведущие ритмы рек Челябинской области, относящихся к Камскому бассейну, составили – 3–4 и 18 лет, Тобольскому бассейну – 7–8, 13–14 и 18 лет, Уральскому – 2–3, 7–8, 13–14 лет. В летне-осенний период для рек Зауралья характерно наличие более продолжительных ритмов по отношению к рекам Предуралья 3–4, 7– лет. Ведущие ритмы Зауралья более устойчивы и составляют 6–7, 17–18, 22–23. В зимнюю межень самыми распространенными и устойчивыми ритмами для рек области (Камский и Тобольский бассейны) являются ритмы – 6–7, 13–14, 17–18 лет. На юго-западе области представленной реками бассейна Урала, наблюдается уменьшение длительности ритмов – 3–4, 6–7, 11–14 лет. Длительность ритмов в основном увеличивается в южном направлении и с запада на восток. Причем многолетние колебания рек Предуралья и Зауралья различ-

ны, смещение ритмов по территории составляет 1–3 и более лет. Значительная неоднородность сезонного стока присуща рекам, протекающим в различных природных зонах области.

Ритмические многолетние колебания сезонного стока рек оказывают влияние на хозяйственную деятельность человека, их знания являются основой для прогнозирования. Так, например, в летне-осенний период увеличение величин сезонного стока рек Челябинской области, происходит каждые 7–8 лет в бассейне Камы, 17–18 лет – в бассейне Тобола и 22–23 года в бассейне Урала. Значительные осадки летне-осеннего периода, приводят к поднятию грунтовых вод, которое в свою очередь, приводит к временному подтоплению или затоплению территорий. Например, установлен ведущий ритм для летне-осеннего сезона бассейна р. Урал, который составляет 22–23 года. Как показывает практика, резкое увеличение водности на реке Урал (в районе г. Верхнеуральска), из-за сильных осадков наблюдается примерно каждые 22–23 года. Такая ситуация наблюдалась в 1971 и 1994 годах. Следовательно, согласно проведенным исследованиям следующее повышение водности и возможные затопления территорий ожидаются в этом районе в 2016–2017 гг.

Выявление сезонных ритмов колебания стока имеет большую практическую значимость. Результаты исследований могут быть использованы для различных целей и учитываться:

- при составлении кадастровых карт с целью экономической и кадастровой оценки территории на водосборной площади бассейнов;
- при проведении расчетов многолетнего регулирования сезонного стока и выборе оптимальных параметров гидроузлов при проектировании гидротехнических сооружений;
- при проектировании водохранилищ, где учет ритмичности позволяет снизить их объем, что позволяет уменьшить затраты при строительстве;
- при размещении хозяйственных объектов.

Игнорирование сведений о ритмичности, может привести к затопляемости территории и причинению ущерба.

В последние десятилетия антропогенная нагрузка на гидрологические объекты Челябинской области увеличилась в связи с недостаточностью водных ресурсов. Поэтому изучение ритмов представляет собой одну из важных задач современной науки.

Характер развития данных природных явлений, в первую очередь, определяется космическими ритмами, которые через перестройку атмосферной циркуляции оказывают влияние на изменение гидрометеорологических процессов на Земле. Выяснению влияния атмосферной циркуляции на сезонный сток рек на территории области посвящен следующий раздел.

Таблица 6.4

Коэффициенты корреляции ( $r$ ) стока рек за весенний период за 1968–2003 г.г.

Река – пункт	Коэффициенты корреляции ( $r$ ) стока рек за весенний период за 1968–2003 г.г.																
	Юрюзань-Вязовая	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Миасс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодотомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталяват-Карталы	Теча-Муслюмово	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б.Караганка-Измайловский
$r$		0,75	0,63	0,88	0,87	0,51	0,43	0,43	0,41	0,31	0,36	0,39	0,38	0,59	0,54	0,44	0,16
$\delta_r$		0,07	0,10	0,04	0,04	0,12	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,11	0,12	0,14	0,16
$r$	0,75		0,62	0,67	0,66	0,31	0,21	0,35	0,49	0,24	0,28	0,39	0,47	0,44	0,43	0,37	0,00
$\delta_r$	0,07		0,10	0,09	0,10	0,15	0,16	0,15	0,13	0,16	0,16	0,14	0,13	0,14	0,14	0,15	0,17
$r$	0,63	0,62		0,75	0,69	0,61	0,55	0,61	0,69	0,45	0,60	0,39	0,54	0,61	0,54	0,55	0,27
$\delta_r$	0,10	0,10		0,07	0,09	0,11	0,12	0,11	0,09	0,13	0,11	0,14	0,12	0,11	0,12	0,12	0,16
$r$	0,88	0,67	0,75		0,96	0,67	0,70	0,67	0,57	0,54	0,62	0,53	0,53	0,81	0,72	0,62	0,39
$\delta_r$	0,04	0,09	0,07		0,01	0,09	0,09	0,09	0,11	0,12	0,10	0,12	0,12	0,06	0,08	0,11	0,14
$r$	0,87	0,66	0,69	0,96		0,71	0,75	0,71	0,61	0,57	0,63	0,64	0,50	0,85	0,80	0,70	0,44
$\delta_r$	0,04	0,10	0,09	0,01		0,08	0,07	0,08	0,11	0,11	0,10	0,10	0,13	0,05	0,06	0,09	0,14
$r$	0,51	0,31	0,61	0,67	0,71		0,77	0,73	0,69	0,58	0,65	0,69	0,70	0,66	0,68	0,66	0,56
$\delta_r$	0,12	0,15	0,11	0,09	0,08		0,07	0,08	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,12
$r$	0,43	0,21	0,55	0,70	0,75	0,77		0,85	0,65	0,81	0,86	0,64	0,54	0,89	0,77	0,73	0,70
$\delta_r$	0,14	0,16	0,12	0,09	0,07	0,07		0,05	0,10	0,06	0,04	0,10	0,12	0,04	0,07	0,08	0,09

Продолжение табл. 6.4

Река – пункт		Юрюзань-Вязовая	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Мясс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыаят-Карталы	Теча-Муслумово	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б.Каратапка-Измайловский
Уй-	r	0,43	0,35	0,61	0,67	0,71	0,73	0,85		0,80	0,82	0,89	0,78	0,63	0,85	0,92	0,89	0,54
Плодопитомник	$\delta_r$	0,14	0,15	0,11	0,09	0,08	0,08	0,05		0,06	0,05	0,04	0,07	0,10	0,05	0,03	0,04	0,12
Синара-В.Ключевское	r	0,41	0,49	0,69	0,57	0,61	0,69	0,65	0,80		0,75	0,71	0,60	0,68	0,60	0,75	0,79	0,37
	$\delta_r$	0,14	0,13	0,09	0,11	0,11	0,09	0,10	0,06		0,07	0,08	0,11	0,09	0,11	0,07	0,06	0,15
Увелька-Карсинский	r	0,31	0,24	0,45	0,54	0,57	0,58	0,81	0,82	0,75		0,91	0,56	0,66	0,73	0,69	0,65	0,50
	$\delta_r$	0,15	0,16	0,13	0,12	0,11	0,11	0,06	0,05	0,07		0,03	0,12	0,09	0,08	0,09	0,10	0,13
Увелька-Красносельское	r	0,36	0,28	0,60	0,62	0,63	0,65	0,86	0,89	0,71	0,91		0,59	0,59	0,80	0,73	0,70	0,48
	$\delta_r$	0,15	0,16	0,11	0,10	0,10	0,10	0,04	0,04	0,08	0,03		0,11	0,11	0,06	0,08	0,09	0,13
Карталыаят-Карталы	r	0,39	0,39	0,39	0,53	0,64	0,69	0,64	0,78	0,60	0,56	0,59		0,58	0,69	0,79	0,83	0,49
	$\delta_r$	0,14	0,14	0,14	0,12	0,10	0,09	0,10	0,07	0,11	0,12	0,11		0,11	0,09	0,06	0,05	0,13
Теча-Муслумово	r	0,38	0,47	0,54	0,53	0,50	0,70	0,54	0,63	0,68	0,66	0,59	0,58		0,50	0,61	0,66	0,37
	$\delta_r$	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,09	0,12	0,10	0,09	0,09	0,11	0,11		0,13	0,11	0,10	0,15
Урал-Верхнеуральск	r	0,59	0,44	0,61	0,81	0,85	0,66	0,89	0,85	0,60	0,73	0,80	0,69	0,50		0,84	0,74	0,55
	$\delta_r$	0,11	0,14	0,11	0,06	0,05	0,10	0,04	0,05	0,11	0,08	0,06	0,09	0,13		0,05	0,08	0,12
Урал-Кизильское	r	0,54	0,43	0,54	0,72	0,80	0,68	0,77	0,92	0,75	0,69	0,73	0,79	0,61	0,84		0,93	0,51
	$\delta_r$	0,12	0,14	0,12	0,08	0,06	0,09	0,07	0,03	0,07	0,09	0,08	0,06	0,11	0,05		0,02	0,13



Продолжение табл. 6.4

Река – пункт		Юрюзань-Вязовая	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Мясс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыаят-Карталы	Теча-Муслумово	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б.Каратамка-Измайловский
Уй-Степное	$r$	0,52	0,40	0,57	0,66	0,69	0,65		0,90	0,57	0,64	0,69	0,43	0,39	0,91	0,66	0,58	0,38
	$\delta_r$	0,12	0,14	0,11	0,10	0,09	0,10		0,03	0,11	0,10	0,09	0,14	0,14	0,03	0,10	0,11	0,14
Уй-Плодопитомник	$r$	0,53	0,46	0,61	0,64	0,73	0,73	0,90		0,52	0,71	0,76	0,52	0,34	0,93	0,85	0,77	0,60
	$\delta_r$	0,12	0,13	0,11	0,10	0,08	0,08	0,03		0,12	0,08	0,07	0,12	0,15	0,02	0,05	0,07	0,11
Синара-В. Ключевское	$r$	0,35	0,34	0,60	0,51	0,40	0,75	0,57	0,52		0,48	0,54	0,34	0,74	0,51	0,66	0,59	0,37
	$\delta_r$	0,15	0,15	0,11	0,13	0,14	0,07	0,11	0,12		0,13	0,12	0,15	0,08	0,12	0,09	0,11	0,15
Увелька-Карсинский	$r$	0,49	0,43	0,44	0,56	0,54	0,70	0,64	0,71	0,48		0,77	0,38	0,41	0,62	0,64	0,62	0,44
	$\delta_r$	0,13	0,14	0,14	0,12	0,12	0,09	0,10	0,08	0,13		0,07	0,14	0,14	0,10	0,10	0,10	0,14
Увелька-Красносельское	$r$	0,69	0,56	0,78	0,79	0,79	0,67	0,69	0,76	0,54	0,77		0,61	0,41	0,68	0,77	0,76	0,61
	$\delta_r$	0,09	0,12	0,07	0,06	0,06	0,09	0,09	0,07	0,12	0,07		0,11	0,14	0,09	0,07	0,07	0,11
Карталыаят-Карталы	$r$	0,35	0,42	0,50	0,50	0,53	0,29	0,43	0,52	0,34	0,38	0,61		0,31	0,45	0,70	0,72	0,59
	$\delta_r$	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,15	0,14	0,12	0,15	0,14	0,11		0,15	0,13	0,09	0,08	0,11
Теча-Муслумово	$r$	0,02	0,22	0,36	0,22	0,10	0,57	0,39	0,34	0,74	0,41	0,41	0,31		0,36	0,69	0,60	0,53
	$\delta_r$	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,11	0,14	0,15	0,08	0,14	0,14	0,15		0,15	0,09	0,11	0,12
Урал-Верхнеуральск	$r$	0,60	0,55	0,59	0,71	0,79	0,62	0,91	0,93	0,51	0,62	0,68	0,45	0,36		0,75	0,66	0,49
	$\delta_r$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,06	0,10	0,03	0,02	0,12	0,10	0,09	0,13	0,15		0,07	0,10	0,13

Продолжение табл. 6.4

Река – пункт	Юрюзань-Вязовая																	
	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Мясс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталяяйт-Карталы	Теча-Муслюмово	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б.Караганка-Измайловский		
Урал-Кизильское	r	0,46	0,49	0,61	0,57	0,62	0,77	0,66	0,85	0,66	0,64	0,77	0,70	0,69	0,75		0,95	0,79
	δ <sub>r</sub>	0,13	0,13	0,11	0,10	0,07	0,10	0,05	0,05	0,09	0,10	0,07	0,09	0,09	0,07		0,02	0,06
Гумбейка-Наваринский	r	0,48	0,41	0,55	0,52	0,58	0,77	0,58	0,77	0,59	0,62	0,76	0,72	0,60	0,66	0,95		0,84
	δ <sub>r</sub>	0,13	0,14	0,12	0,12	0,11	0,07	0,11	0,07	0,11	0,10	0,07	0,08	0,11	0,10	0,02		0,04
Б. Караганка-Измайловский	r	0,47	0,52	0,48	0,43	0,44	0,48	0,38	0,60	0,37	0,44	0,61	0,59	0,53	0,49	0,79	0,84	
	δ <sub>r</sub>	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,11	0,15	0,14	0,11	0,11	0,12	0,13	0,06	0,05	
Юрюзань-Вязовая	r		0,82	0,53	0,63	0,68	0,34	0,35	0,40	0,70	0,50	0,55	0,01	0,48	0,56	0,45	0,54	0,04
	δ <sub>r</sub>		0,05	0,12	0,10	0,09	0,15	0,15	0,14	0,09	0,13	0,12	0,17	0,13	0,12	0,13	0,12	0,17
Сим-Миньяр	r	0,82		0,51	0,55	0,61	0,48	0,36	0,44	0,82	0,55	0,56	0,13	0,71	0,61	0,59	0,62	0,09
	δ <sub>r</sub>	0,05		0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,14	0,05	0,12	0,12	0,17	0,08	0,11	0,11	0,10	0,17
Уфа-Нязепетровск	r	0,53	0,51		0,74	0,79	0,36	0,59	0,74	0,71	0,69	0,78	0,19	0,43	0,51	0,70	0,68	0,01
	δ <sub>r</sub>	0,12	0,12		0,08	0,06	0,15	0,11	0,08	0,08	0,09	0,07	0,16	0,14	0,12	0,09	0,09	0,17
Ай-Златоуст	r	0,63	0,55	0,74		0,87	0,47	0,62	0,67	0,57	0,55	0,65	0,19	0,39	0,51	0,60	0,67	0,15
	δ <sub>r</sub>	0,10	0,12	0,08		0,04	0,13	0,10	0,09	0,11	0,12	0,10	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,17
Ай-Веселовка	r	0,68	0,61	0,79	0,87		0,40	0,63	0,65	0,60	0,64	0,71	0,09	0,33	0,61	0,71	0,77	0,03
	δ <sub>r</sub>	0,09	0,11	0,06	0,04		0,14	0,10	0,10	0,11	0,10	0,08	0,17	0,15	0,11	0,08	0,07	0,17

Продолжение табл. 6.4

Река – пункт		Юрюзань-Вязовая	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Миасс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыаят-Карталы	Теча-Муслумово	Ураг-Верхнеурагльск	Ураг-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б.Каратанка-Измайловский
Миасс-Костыли	r	0,34	0,48	0,36	0,47	0,40		0,03	0,44	0,44	0,32	0,39	0,05	0,42	0,53	0,60	0,61	0,23
	δ <sub>r</sub>	0,15	0,13	0,15	0,13	0,14		0,17	0,14	0,14	0,15	0,14	0,17	0,14	0,12	0,11	0,11	0,16
Уй-Степное	r	0,35	0,36	0,59	0,62	0,63	0,03		0,85	0,41	0,70	0,75	0,47	0,32	0,57	0,54	0,56	0,01
	δ <sub>r</sub>	0,15	0,15	0,11	0,10	0,10	0,17		0,05	0,14	0,09	0,07	0,13	0,15	0,11	0,12	0,12	0,17
Уй-Плодопитомник	r	0,40	0,44	0,74	0,67	0,65	0,44	0,85		0,44	0,81	0,93	0,42	0,45	0,59	0,69	0,66	0,30
	δ <sub>r</sub>	0,14	0,14	0,08	0,09	0,10	0,14	0,05		0,14	0,06	0,02	0,14	0,13	0,11	0,09	0,09	0,15
Синара-В. Ключевское	r	0,70	0,82	0,71	0,57	0,60	0,44	0,41	0,44		0,57	0,56	0,08	0,75	0,64	0,65	0,65	0,02
	δ <sub>r</sub>	0,09	0,05	0,08	0,11	0,11	0,14	0,14	0,14		0,11	0,12	0,17	0,07	0,10	0,10	0,10	0,17
Увелька-Карсинский	r	0,50	0,55	0,69	0,55	0,64	0,32	0,70	0,81	0,57		0,81	0,35	0,67	0,62	0,70	0,66	0,01
	δ <sub>r</sub>	0,13	0,12	0,09	0,12	0,10	0,15	0,09	0,06	0,11		0,06	0,15	0,09	0,10	0,09	0,09	0,17
Увелька-Красносельское	r	0,55	0,56	0,78	0,65	0,71	0,39	0,75	0,93	0,56	0,81		0,26	0,43	0,62	0,73	0,70	0,25
	δ <sub>r</sub>	0,12	0,12	0,07	0,10	0,08	0,14	0,07	0,02	0,12	0,06		0,16	0,14	0,10	0,08	0,09	0,16
Карталыаят-Карталы	r	0,01	0,13	0,19	0,19	0,09	0,05	0,47	0,42	0,08	0,35	0,26		0,06	0,26	0,30	0,36	0,16
	δ <sub>r</sub>	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,13	0,14	0,17	0,15	0,16		0,17	0,16	0,15	0,15	0,16
Теча-Муслумово	r	0,48	0,71	0,43	0,39	0,33	0,42	0,32	0,45	0,75	0,67	0,43	0,06		0,68	0,63	0,59	0,04
	δ <sub>r</sub>	0,13	0,08	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,13	0,07	0,09	0,14	0,17		0,09	0,10	0,11	0,17

Окончание табл. 6.4

Река – пункт	Юрюзань-Вязовая															
	Сим-Миньяр	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Мясс-Костыли	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Синара-В. Ключевское	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыаят-Карталы	Теча-Муслюмово	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский	Б. Караганка-Измайловский
Урал-Верхнеуральск	r	0,56	0,61	0,51	0,61	0,53	0,57	0,59	0,64	0,62	0,26	0,68		0,71	0,75	0,10
	$\delta_r$	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,16	0,09		0,08	0,07	0,17
Урал-Кизильское	r	0,45	0,59	0,70	0,60	0,71	0,54	0,69	0,65	0,70	0,30	0,63	0,71		0,95	0,01
	$\delta_r$	0,13	0,11	0,09	0,11	0,08	0,12	0,09	0,10	0,09	0,15	0,10	0,08		0,02	0,17
Гумбейка-Наваринский	r	0,54	0,62	0,68	0,67	0,61	0,56	0,66	0,65	0,66	0,36	0,59	0,75	0,95		0,04
	$\delta_r$	0,12	0,10	0,09	0,09	0,11	0,12	0,09	0,10	0,09	0,15	0,11	0,07	0,02		0,04
Б. Караганка-Измайловский	r	0,04	0,09	0,01	0,15	0,23	0,01	0,30	–	–	0,25	0,04	0,10	0,01	0,04	
	$\delta_r$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,15	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

## 6.2. Связь сезонного стока с синоптическими условиям при разных формах атмосферной циркуляции

Характер атмосферной циркуляции является одним из главных факторов определяющих гидрометеорологический режим исследуемой территории. В связи с этим возникает необходимость более подробного исследования связи между атмосферной циркуляцией и количественными характеристиками водного режима рек на исследуемой территории.

Выяснение влияния циркуляционных факторов удобно производить, используя формы циркуляции Г.Я. Вангенгейма, который ввел понятие элементарного синоптического процесса (ЭПЦ). При этом все наблюдавшиеся в атмосфере процессы он объединил в 26 типов. Дальнейший их анализ позволил обобщить в три формы общей циркуляции атмосферы: западную (W), меридиональную (С) и восточную (Е). Эти три типа являются формами общей циркуляции атмосферы и определяются по преобладающим переносам тропосферы умеренных широт. Г.Я. Вангенгеймом (1946, 1959), дана подробная характеристика типов циркуляции и выявлено влияние ее на целый ряд метеорологических элементов и их распределение во времени и пространстве. Типизация макросиноптических процессов позволила выявить зависимость между атмосферной циркуляцией и гидрометеорологическими явлениями. В целом ряде работ исследователей наглядно показана зависимость водного режима в различных районах от форм атмосферной циркуляции.

Г.Я. Вангенгейм (1952) на примере исследования бассейна Волги показал, что при активизации процессов форм W и С количество осадков в летнее время превышает норму, а при E циркуляции наблюдается значительный дефицит. Как показали исследования А.С. Григорьевой (1961), при различных формах циркуляции Г.Я. Вангенгейма наблюдаются различные условия влагосодержания атмосферы: максимум влагосодержания в январе наблюдается при W циркуляции, в июле при E, а минимум влагосодержания летом и зимой бывает при процессах формы С.

Так, связь многолетних колебаний стока рек с условиями циркуляции атмосферы отмечена в работе Л.К. Давыдова (1947), П.С. Кузина (1953), где выделены в пределах нашей страны гидросиноптические районы с синхронными колебаниями водности с однородными синоптическими условиями.

В работе Т.Н. Кочуковой (1955) особенности циркуляционных процессов атмосферы использованы для объяснения многолетних коле-

баний стока рек и их асинхронности в соседних районах. Ею получены корреляционные связи между повторяемостью форм атмосферной циркуляции по Г.Я. Вангенгейму и колебаниями стока рек по скользящим десятилетиям. Положительные связи с западной формой циркуляции были установлены для большинства рек северной, центральной и юго-восточной частей ЕТС, а также для некоторых рек Западной Сибири.

А.Г. Ковзель (1960) рассматривая многолетние колебания стока рек Тобола и Иртыша, показал, что одной из причин колебаний водности рек является изменение увлажненности территории, которая, в свою очередь, есть следствие аномального развития тех или других форм атмосферной циркуляции над бассейнами этих рек или над более значительной территории.

А.С. Шкляев в ряде работ (1964, 1965, 1966) показал влияние атмосферной циркуляции на распределение осадков, температур воздуха и стока по территории Среднего и Южного Урала. Им было произведено районирование Урала по особенностям распределения осадков в зависимости от форм атмосферной циркуляции (Шкляев, 1964) и по преобладающему влиянию форм атмосферной циркуляции на речной сток (Шкляев, 1965). При этом было доказано, что особенности атмосферной циркуляции во взаимодействии с рельефом местности не только обуславливают аналогию в очертаниях изолиний средних многолетних сумм осадков и среднего многолетнего стока, но и объясняют неравномерность распределения осадков, испарения и стока в различных зонах Среднего и Южного Урала.

А.С. Шкляевым (1966) было установлено влияние меридиональной циркуляции на формирование стока в южном и восточном направлениях на территории Урала. Им показано, что благоприятные условия формирования стока при западной (W) циркуляции наблюдаются в бассейне Верхней Камы, а при меридиональной (С) в бассейнах рек Белой и Тобола. При активизации формы восточной (Е) циркуляции водность рек Верхнего Тобола уменьшается. Аномальное развитие Е циркуляции создает неблагоприятные условия формирования стока на всей территории Среднего и Южного Урала.

Исследования К.Е. Орловой (1966) касались бассейна р. Тобол и показали связь стока с атмосферными осадками, которая наиболее четко проявляется в многоводную эпоху (С) циркуляции. В более засушливую эпоху Е + С теснота связи ослабевает, особенно в южных районах исследуемой территории.

Т.П. Девяткова (1969, 1970) исследуя водность сезонного стока рек Предуралья в годы аномального развития форм атмосферной циркуляции, пришла к выводу, что для формирования стока весеннего и летне-

осеннего сезонов наиболее неблагоприятные условия создаются при аномальном развитии восточной циркуляции. Аномальное развитие меридиональной формы обуславливает наибольшее увеличение водности обоих сезонов в южной части Предуралья в бассейне р. Белой. Активизация западной циркуляции определяет повышенную водность сезонов в северном Предуралье.

В работах М.А. Андреевой (1969, 1973, 1975, 1986а, 1991, 2002) на примере рек и озер Среднего и Южного Урала показано, что изменение гидрологического режима и метеорологических элементов тесно связано с эпохальностью в развитии атмосферной циркуляции. Установлено, что наибольшее воздействие на водный режим оказывают процессы меридиональной и восточной форм циркуляции. С активизацией в летний период меридиональной циркуляции связано повышенное увлажнение и увеличение водности водоемов, а с активизацией восточной – спад. Аномальное развитие форм E и W в весенний период вызывает быстрое таяние снега и высокое половодье. Меридиональная циркуляция приводит к замедлению схода снега, в результате чего весеннее половодье оказывается небольшим.

Н.С. Рассказовой (2003) были проведены исследования синхронности многолетних колебаний стока рек Камского и Тобольского бассейнов по эпохам атмосферной циркуляции. В результате изучения установлена асинхронность колебаний стока рек рассматриваемой территории в эпоху E. В бассейне Тобола, выявлена асинхронность рек районов лесостепной и лесной зон по отношению к степной зоне. При смене эпох атмосферной циркуляции в эпоху E происходит смещение границ гидрологических районов на север, а в эпоху C на юг, причем в Зауралье перемещение границ больше, что связано с преобладанием меридионального переноса.

Как следует из приведенного обзора, рассматриваемая типизация макросиноптических процессов Г.Я. Вангенгейма нашла широкое применение в гидрологии и метеорологии. Она основана на анализе направлений основных переносов воздуха в пределах атлантико-евразийской части северного полушария, к которой относится исследуемая территория.

Вследствие большой меридиональной протяженности Уральского хребта, затрудняющего «переваливание» воздушных масс, воздействие западных циклонов более заметно в Предуралье, чем в Зауралье. Уральские горы вызывают значительные изменения циркуляции атмосферы: раздвоение циклонов над высокими частями Уральских гор, образование новых циклонов в Зауралье и т. д. Эти изменения сопровождаются более частыми вторжениями холодного арктического воздуха в Зауралье по сравнению с Предуральем (Строгина, 1962).

Каждая форма атмосферной циркуляции характеризуется определенным положением высотных гребней и ложбин, что приводит к возникновению характерных для каждой формы зон максимальных контрастов температур воздуха, благоприятных для возникновения и активизации циклонической деятельности. По траекториям циклонов, которые движутся, огибая высотные гребни, можно судить об ориентации гребней и ложбин, а, следовательно, и о формах атмосферной циркуляции.

В течение всего года над территорией Урала, как и над всей атлантико-евразийской частью Северного полушария, форма W характеризует зональную стадию общей циркуляции атмосферы, а формы С и Е отображают ее меридиональное состояние.

В сезонном рассмотрении в зимний период при форме W наибольшую повторяемость на Урале (около 80 %) имеют циклоны западного направления, активно проявляющиеся в Предуралье. На долю южных и восточных циклонов, оказывающих особенно большое влияние в Зауралье, приходится более 20 %. Таким образом, при форме W в холодный период на территории Южного Урала наблюдается зональный перенос воздушных масс, особенно хорошо выраженный в Предуралье и ослабленный в Зауралье.

При форме С в этот период преобладают циклоны северо-западного, юго-западного и южного направлений составляющих около 70 % всех циклонов, наблюдавшихся зимой при меридиональной циркуляции.

При Е форме общее число циклонов значительно уменьшается по сравнению с количеством циклонов при форме W и С. Преобладают, как и при форме С, циклоны южного и восточного направлений на них приходится 80 %. В основном при форме Е в холодный период циклоны наблюдаются в Зауралье (Шкляев, 1964).

Таким образом, в зимний период каждой форме циркуляции свойственны свои типичные траектории движения циклонов, которые являются преобладающими только при данной форме. В это время наблюдается уменьшение циклонической деятельности с запада на восток при форме W и ее увеличение в том же направлении при форме Е. При форме С разница между количеством циклонов в Предуралье и Зауралье выражена не так резко.

В теплый период наблюдается некоторое изменение в отношениях повторяемости основных типов траектории циклонов. При форме W усиливается доля зонального переноса воздушных масс почти до 85 % за счет западного и юго-западного циклонов. В Зауралье при этой форме циклоническая деятельность ослабевает еще больше, чем в холодный период.

При меридиональной форме циркуляции в теплое время года усиливается вынос воздушных масс с юга, что выражается в резком увеличении повторяемости типов южных и юго-западных циклонов и сокращается выход на Урал западных и северо-западных циклонов. По сравнению с холодным полугодием при форме С существенно увеличивается повторяемость восточных циклонов в Зауралье.

При восточной циркуляции в летнее время заметно возрастает повторяемость циклонов западного направления и сокращается число случаев выхода циклонов с юга в Предуралье и с востока в Зауралье. Однако и в теплое полугодие при форме Е более половины всех циклонов наблюдается в Зауралье. В целом, несмотря на усиление доли зонального переноса при форме Е в теплое время года, по сравнению с холодным, преобладающим при этой форме продолжает оставаться меридиональный перенос (более 70 % летних циклонов при форме Е имеет меридиональную составляющую) (Шкляев, 1964).

Таким образом, в теплый период каждой форме атмосферной циркуляции свойственны свои типичные, при этом отличные от зимних, траектории движения циклонов. По сравнению с холодным периодом заметно возрастает общее количество приходящих на территорию Южного Урала циклонов, особенно при меридиональной и восточной формах циркуляции атмосферы. При форме W и E усиливается доля зонального обмена, но в целом характер изменения циклонической деятельности по территории остается такой же, как и в холодное полугодие: уменьшение циклонической деятельности с запада на восток при форме W и ее увеличение в том же направлении при форме E. При форме С вероятность вторжения циклонов в Предуралье и Зауралье примерно одинакова.

Как уже было отмечено, циркуляционные формы W, E и С несколько раз сменяют друг друга на протяжении года, поэтому характер гидрологического режима определяется преобладанием тех или иных типов атмосферной циркуляции, их последовательностью и продолжительностью.

Наиболее интенсивное развитие циклонических процессов наблюдается при меридиональной циркуляции. В периоды активизации процессов формы С над территорией Урала располагается высотный циклон или глубокая ложбина, что приводит к созданию благоприятных условий для циклогенеза. Траектории циклонов и антициклонов имеют преимущественно меридиональное направление. В результате этого усиливается междуширотный обмен, способствующий увеличению температурных контрастов, обострению фронтальных разделов и активизации циклонической деятельности. В летний период наибольшая

роль принадлежит южным циклонам и антициклонам, меньшая – северным (Андреева, 1975).

Активизация циклонической деятельности при форме С вызывает повышенную увлажненность на территории Урала. Синоптические условия при этом характеризуются следующими условиями. Над Уралом обычно располагается обширная циклоническая область, центр которой находится непосредственно над Уралом или в прилегающих к нему районах. Ложбина циклона направлена к югу, в сторону Каспийского и Аральского морей. Высотная фронтальная зона к западу от Урала ориентирована с северо-запада на юго-восток, а в Зауралье – с юго-запада на северо-восток. Соответственно и барические образования перемещаются от центральных районов Европейской территории севера к востоку и юго-востоку, а в Зауралье – к северо-востоку. Нередко при приближении к Уралу циклоны заполняются, а в их ложбине, в Зауралье, развиваются новые барические возмущения, перемещающиеся к северо-востоку.

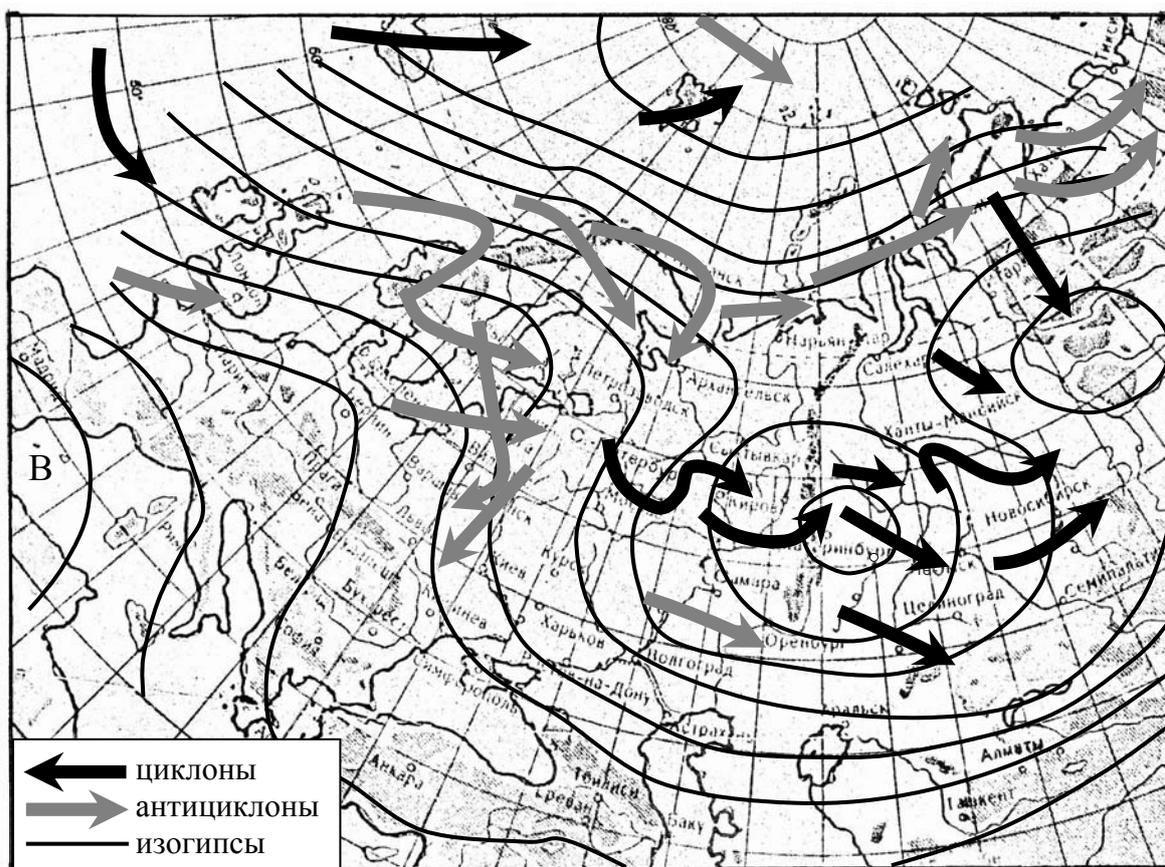


Рис. 6.2. Карта  $AT_{500}$  и схема синоптических процессов за июль 1994 года

При форме С районы Урала могут быть заняты обширной циклонической депрессией с несколькими центрами, вытянутыми с юго-запада на северо-восток. Полоса повышенного давления располагается над Баренцевым морем, а также над крайним юго-востоком Европейской территории севера. Высотная фронтальная зона имеет почти широтное направление. Вдоль этой зоны у поверхности земли с юго-запада на северо-восток происходит перемещение циклонов. Одни из них заполняются в Предуралье, другие переваливают через Урал и перемещаются к востоку и северо-востоку. Интенсивный циклон, характерный для рассмотренных типов барических систем, способствует формированию положительного увлажнения.

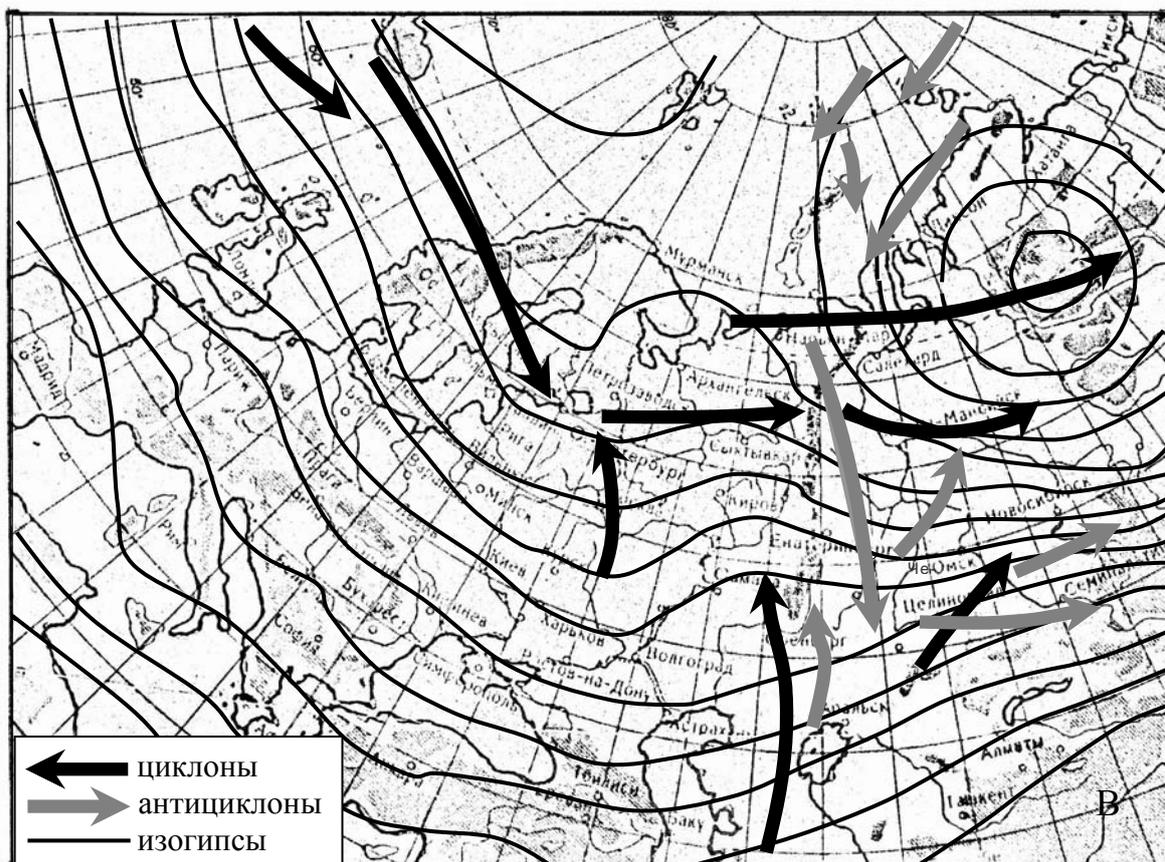
Наличие обширной и глубокой депрессии над севером Западной Сибири и Карским морем и ложбины направленной на юг и юго-запад, сформировавшихся при форме С, вызывает повышенное увлажнение только на Южном Урале (Андреева, 1975).

Поступление холодных воздушных масс в тылу высотной депрессии над Западной Сибирью вызывает обострение фронтальных разделов и усиление циклонической деятельности над восточными районами Европейской территории севера. Образующиеся волны и циклоны в соответствии с потоками над ними смещаются к востоку и юго-востоку, на регионы Южного Урала, вызывая здесь повышенное увлажнение. Подобная синоптическая ситуация складывалась в июле 1994 года, она приведена на рис. 6.2. Этот период отличался обильными летними осадками и высокими паводками, что отразилось на водном режиме рек.

Циклоническая деятельность интенсивно развита при западном типе циркуляции (W). При этом циклонические образования преобладают над антициклоническими. Траектории барических возмущений при данной форме циркуляции имеют преимущественно зональный характер. Преобладающими направлениями циклонов являются северо-западные, западные и южные. При форме W над Уралом распространяется широтно-ориентированная высотно-фронтальная зона со значительными контрастами температур, способствующая углублению ложбин и обострению фронтальных разделов в приземном слое, что обусловлено активизацией арктического и полярного фронтов. В период активизации формы W увлажнение территории недостаточно. В качестве примера можно привести синоптическую ситуацию, складывающуюся в апреле 1992 года, когда наблюдалась невысокая увлажненность (рис. 6.3).

Широтно-ориентированная фронтальная зона разделяла антициклоны лежащие над Казахстаном и циклонические поля, занимающие северо-восточные районы Европейской части. Над Баренцевым морем

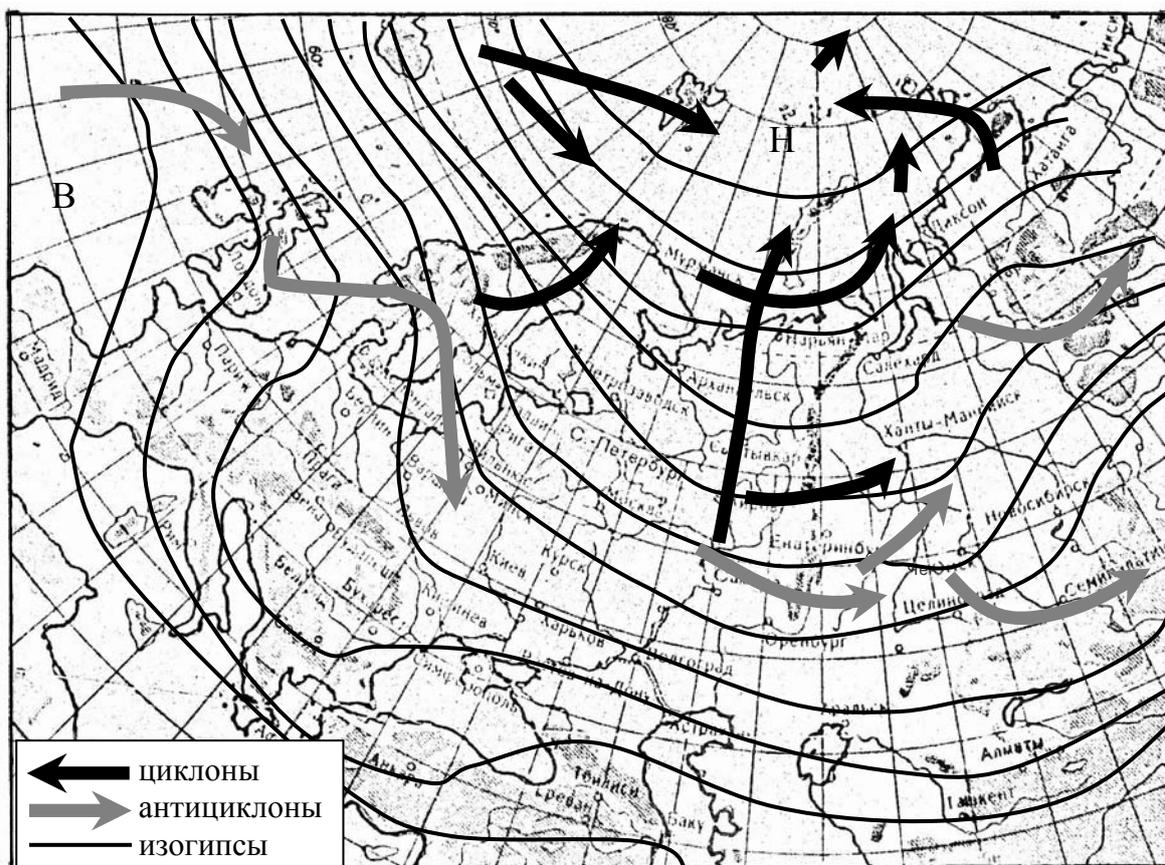
формировались гребни северного антициклона, обуславливающие заток холодного воздуха на Урал. По западной периферии высотного антициклона, находящегося над Казахстаном, происходил вынос теплого воздуха на Урал. В результате происходило обострение фронтов и усиление циклогенеза, что непосредственно отразилось на гидрологическом состоянии рек. В итоге половодье 1992 года оказалось продолжительным и не высоким.



*Рис. 6.3. Карта  $AT_{500}$  и схема синоптических процессов за апрель 1992 года*

Восточная форма циркуляции (Е) отличается усиленной антициклонической деятельностью. Территория барических образований имеет преимущественно меридиональное направление. В связи с расположением высотного гребня над регионами Среднего и Южного Урала преобладают северные направления траекторий. Повторяемость антициклонов высока как в зимний, так и в летний период. Для восточной формы характерно вторжение циклонов с северо-востока из региона Таймырского полуострова. Слабое развитие циклонов и преобладание антициклонической деятельности приводит к формированию при форме

Е отрицательного увлажнения. Вместе с тем преобладание меридиональных процессов способствует распространению холодного воздуха на юг и выносу теплого воздуха в северные широты. В результате увеличиваются контрасты температуры в высотной фронтальной зоне, что способствует обострению фронтов и усилению циклонической деятельности, что может привести к выпадению значительного количества осадков. Описанные синоптические условия возникают редко и считаются аномальными.

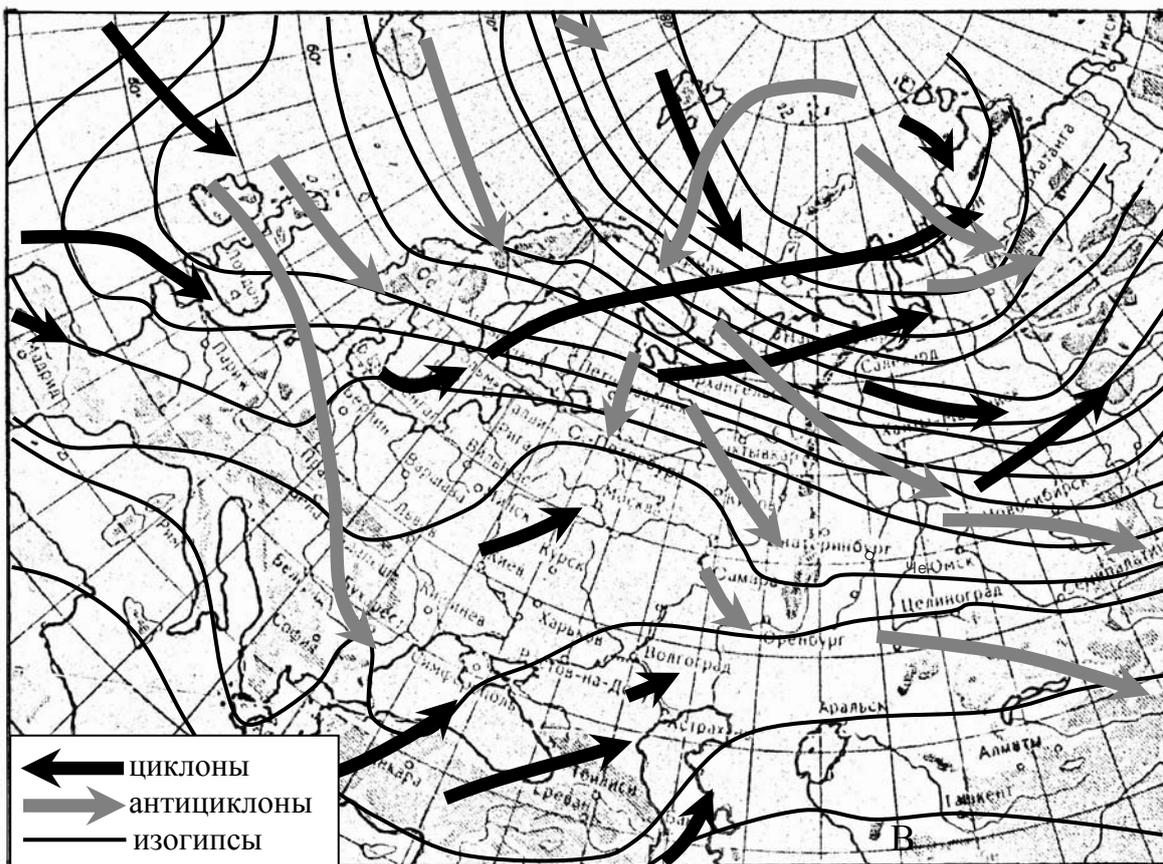


*Рис. 6.4. Карта  $AT_{500}$  и схема синоптических процессов за август 1995 года*

Таким образом, при восточной форме циркуляции барикоциркуляционные условия в большинстве случаев не способствует увеличению увлажнения. Например, в августе 1995 года при аномальном развитии процессов восточной циркуляции на Южном Урале отмечалось недостаточное увлажнение (рис. 6.4).

В этот период наблюдалась активизация антициклонической деятельности, которая способствовала усилению теплой и сухой погоды. В гидрологическом плане на реках была отмечена низкая водность.

В весенний период, циркуляционные процессы восточной формы приносят антициклональную погоду и вызывают повышенный температурный режим, обуславливая тем самым, быстрый сход снега. В результате половодье оказывается резким и высоким. Подобная синоптическая ситуация складывалась в апреле 2000 года (рис. 6.5).



*Рис. 6.5. Карта  $AT_{500}$  и схема синоптических процессов за апрель 2000 года*

Рассмотрение барических образований различных направлений и их воздействие, позволяет обосновать характер влияния основных форм циркуляции на увлажнение исследуемой территории, а, следовательно, и на водность рек.

Для изучения характера колебаний увлажнения применялся метод разностных интегральных кривых. При изучении использовались данные за 60-летний период (рис. 6.6).

Анализ графиков показал, что в Предуралье резкое увеличение увлажнения отмечалось в 1939–1941, 1943–1946, 1957–1960, 1965–1970, 1976–1979, 1984–1985, 1992–1994, а уменьшение в 1936–1938, 1947–1956, 1971–1975, 1980–1982, 1986–1989, 1990–1991 годах.

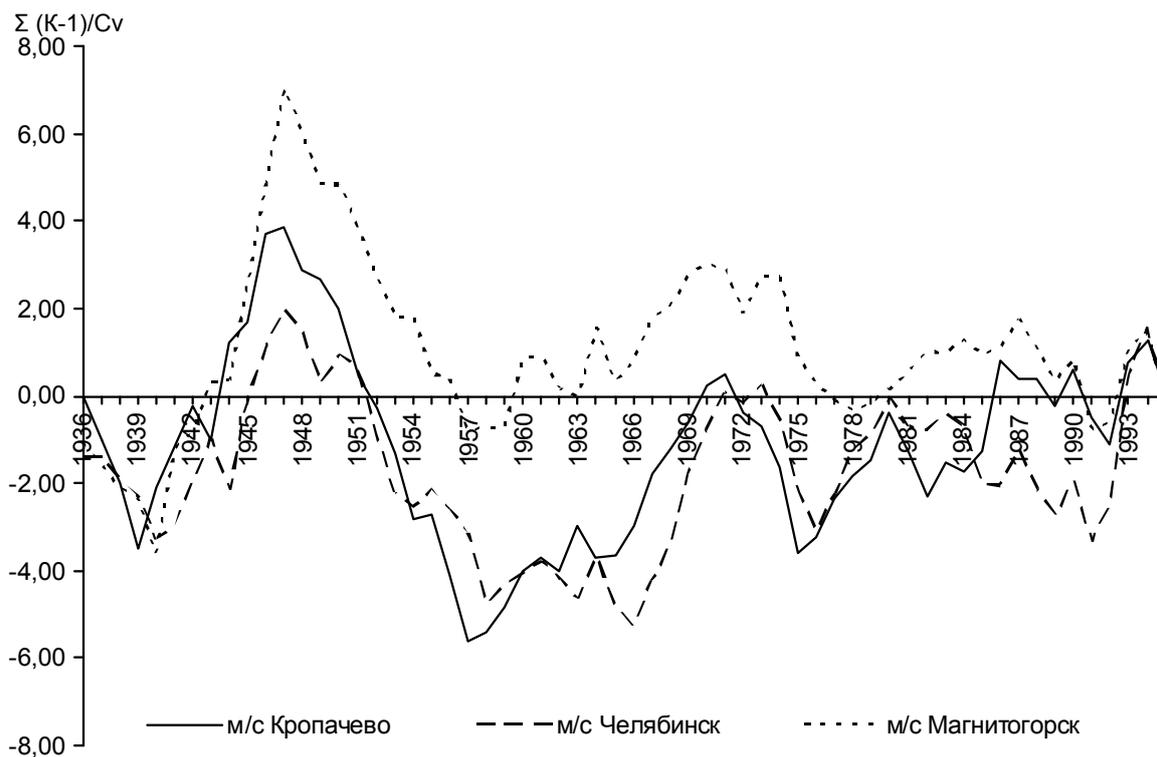


Рис. 6.6. Нормированные разностные интегральные кривые коэффициента увлажнения по метеостанциям: Кропачево, Челябинск, Магнитогорск

Из рис. 6.6 видно, что в Зауралье изменение коэффициента увлажнения происходит со сдвигом  $\approx 1-3$  года по сравнению с Предуральем, что связано с природно-климатическими особенностями территории.

Увеличение  $K_{увл}$  наблюдалось в 1940–1942, 1944–1946, 1958–1960, 1966–1970, 1976–1979, 1991–1993, уменьшение – 1937–1939, 1947–1948, 1951–1957, 1964–1966, 1971–1975, 1983–1985, 1987–1989, 1990–1991 годы. Продолжительность фаз подъема и спада  $K_{увл}$  составила 1–4 года.

В целом можно выделить фазы разной увлажненности, определяющие водность периодов: с 30-х годов увлажнение снижалось, что соответствует маловодной фазе, в 40-е годы наблюдался подъем увлажнения и соответственно многоводная фаза. В 50-е годы отмечался снова спад увлажнения и уменьшение расхода воды рек. В начале 60-х, начале 70-х прослеживался незначительный подъем. В середине 70-х – резкий спад, в 80-е спад сменился незначительным подъемом, который продолжался до середины 90-х. Далее снова продолжался спад, а в конце 90-х отмечался подъем.

Многолетние колебания увлажнения, характеризующиеся чередованием ритмов различной увлажненности, определяются макроциркуляционными процессами, что подтверждается работами А.С. Шкляева (1964) и М.А. Андреевой (1973, 1975), Н.С. Рассказовой (2003).

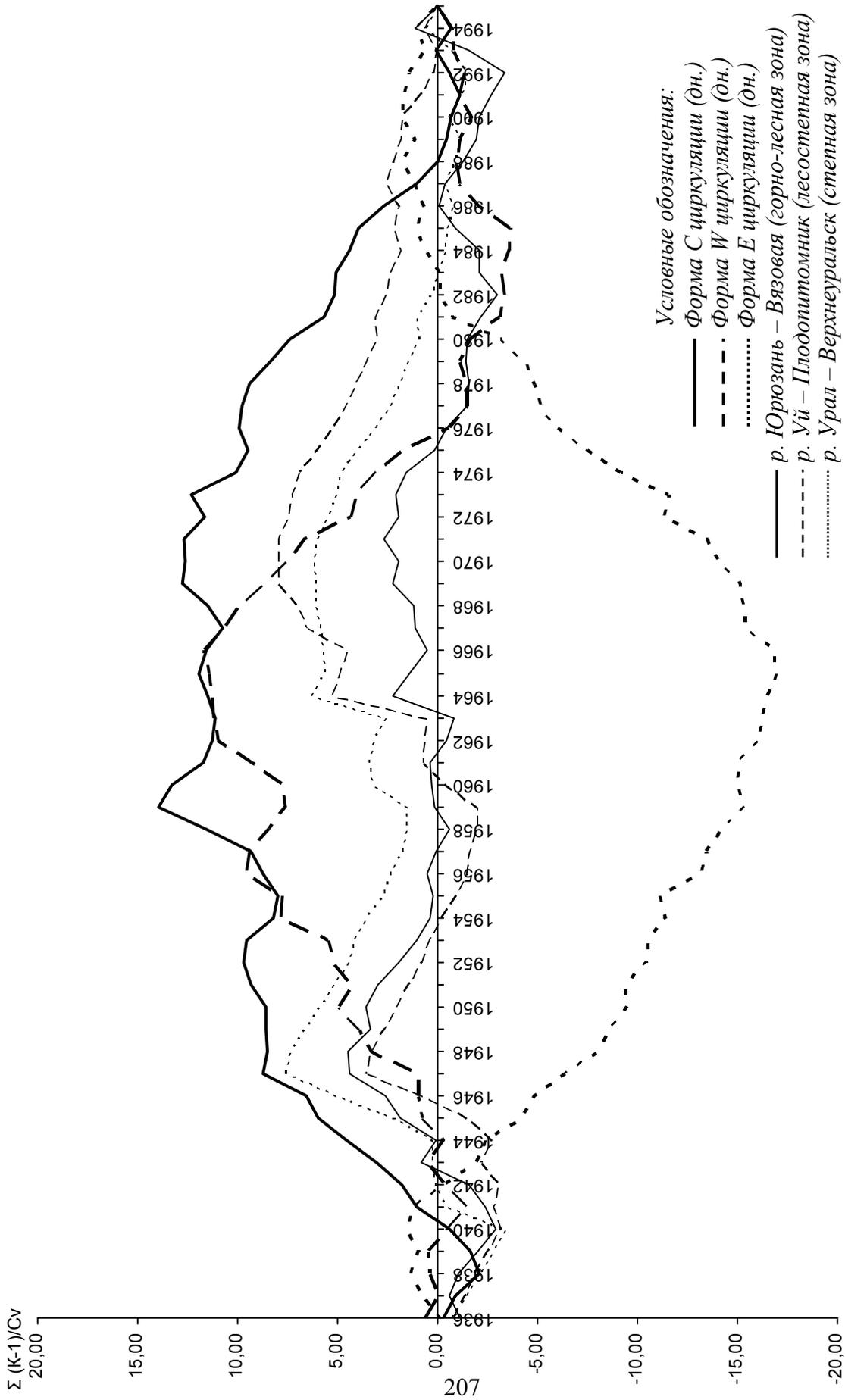


Рис. 6.7. Нормированные разностные интегральные кривые повторяемости форм циркуляции (С, W, E) и модулей стока рек за летне-осенний сезон (VI-X)

Зависимость ритмичности гидрометеорологического режима рек от типа атмосферной циркуляции подтверждается характером разностных интегральных кривых, на примере летне-осеннего сезона (рис. 6.7).

Анализ графиков показывает, что формирование и распределение речного стока является результатом взаимодействия основных форм циркуляции. Летне-осенний сток рек области подвержен значительным колебаниям. Особенность колебаний стока заключается в чередовании групп многоводных и маловодных лет. Уменьшение водности отмечалось в годах: 1936–1940, 1948–1958, 1972–1984, а увеличение – 1940–1947, 1963–1971, 1992–1994 годах. Максимальная длина ритмов достигает 12 лет, минимальная 2 года. Продолжительность маловодных фаз в Зауралье больше на 2–3 года, чем в Предуралье, а многоводных наоборот меньше. В Зауралье смена фаз происходит более резко.

Такое колебание водности связано с изменением частоты повторяемости циклонов и антициклонов, свойственных при различных формах циркуляции. Так маловодная фаза с 1936 по 1939 годы была обусловлена активизацией антициклональных типов погод во времяпреобладания формы Е. С 1940–1947 годы отмечалась повышенная водность рек в связи с активностью циклонических процессов формы С, вызывающих положительное увлажнение. Подъем расходов воды в этот период был интенсивным и продолжительным, особенно в конце 40-х годов, что обусловлено влиянием барических возмущений меридиональной направленности. Максимум водности рек соответствует 1947 году.

Последующий период характеризовался спадом водности, показатели которого не превышали средней многолетней величины вплоть до 1958 года, когда заканчивался период неустойчивого минимума, сопровождавшегося небольшими колебаниями расхода.

Причина данного явления – сменяемость активного проявления циклогенеза в циркуляционные эпохи С и Е. Различная интенсивность данных процессов способствовала уменьшению увлажненности территории. Кроме того, для данного периода характерна активизация антициклональных проявлений атмосферы, присущих форме Е.

Следующий период характеризовался преобладанием многоводной фазы. Амплитуда колебаний водности была наименьшая. Увеличение объемов стока обусловили благоприятные синоптические условия, обеспечивающие достаточное увлажнение. В целом рассматриваемый период отличался резкими изменениями градиентов стока, что обусловлено обострением фронтов и активизацией циклогенеза меридионального направления.

Преобладание циркуляционных процессов при форме С охватывало период с 1967 по 1971 годы и соответствовало многоводному циклу.

С 1972 отмечалась активизация восточной (Е) формы циркуляции. Смена циркуляции (форма С сменилась формой Е) обусловило резкое снижение водности рек, в том числе и стока. При активизации данной формы циркуляции на исследуемой территории наблюдалось недостаточное увлажнение, что было обусловлено широтным расположением барических полей над территорией Южного Урала и преобладанием антициклонических. Данный тип циркуляции по своим синоптическим особенностям отличался установлением сухих типов погод, Примером может служить 1975 год, когда наблюдалось резкое падение величин стока. Аналогичная ситуация складывалась и в 1995 году, когда сток рек был ниже нормы. Эпоха восточной формы циркуляции определила низкую водность рек в 70–90-е годы. В этот период число дней повторяемости процессов формы Е превышало число дней с формами W и С. По синоптическим характеристикам получили максимальное развитие антициклональные типы погод. Исходя, из анализа разностных интегральных кривых форм циркуляции следует, что с 1991 года, несмотря на преобладание антициклональных погод формы Е, отмечается стадия циклогенеза свойственная циркуляции W. Последняя форма обеспечивает повышенную водность. Сток рек в этот период находился в пределах средних величин.

Характер атмосферной циркуляции – важный фактор формирования сезонного стока рек. Для выявления взаимосвязи повторяемости форм атмосферной циркуляции и ее влияния на весенний сток рек протекающих в разных природных зонах были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 6.7).

Таблица 6.7

*Коэффициенты корреляции модульных коэффициентов ( $r$ ) повторяемостью типов атмосферной циркуляции (С, W, E) за зимний период, P, в днях (XI-III) и весеннего стока, q, л/с км<sup>2</sup> (IV-V) за 1936–1995 гг.*

Река – пост	Природная зона	С		W		E	
		$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$
р. Ай – Златоуст	горно-лесная	0,72	0,06	0,68	0,07	0,42	0,11
р. Уй – Плодопитомник	лесостепная	0,30	0,12	0,20	0,12	0,48	0,10
р. Урал – Кизильское	степная	–0,46	0,10	–0,61	0,08	–0,73	0,06

При исследовании весеннего периода немаловажную роль играет характер зимней циркуляции, так как он оказывает влияние на величину

снегозапасов. Поэтому для анализа брались величины весеннего стока и повторяемость форм циркуляции за период с ноября по март.

Анализ показал, что водность рек находится в прямой связи от повторяемости меридиональной формы С, но по мере продвижения на юго-восток связь ослабевает. В западную форму W зависимость отличается неоднозначностью и четко выраженной связи не обнаружено. Водность весны находится в обратной зависимости в период активизации E формы, как в Предуралье, так и в Зауралье. Последнее связано с уменьшением циклонической деятельности характерного для этой формы, по сравнению с С и W формами циркуляции.

Для летне-осеннего сезона (IV-X) на территории Предуралья и Зауралья характерно наличие прямой зависимости от повторяемости формы С и обратной от формы E (табл. 6.8).

Таблица 6.8

*Зависимость модульных коэффициентов между повторяемостью типов атмосферной циркуляции (С, W, E) за летне-осенний период, P, в днях (XI-III) и летне-осеннего стока, q, л/с км<sup>2</sup> (VI-X) за 1936–1995 гг.*

Река – пост	Природная зона	С		W		E	
		$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$	$r$	$\delta_r$
р. Ай – Златоуст	горно-лесная	0,64	0,10	0,73	0,06	0,82	0,04
р. Синара – Верхне-Ключевское	лесостепная	0,38	0,11	0,66	0,08	0,64	0,08
р. Урал – Кизильское	степная	-0,53	0,09	-0,76	0,06	-0,78	0,05

Зависимость сезонного стока от повторяемости западной формы W циркуляции четко выраженной связи не обнаружено. Исходя из изложенного, надо отметить, что в формировании стока весеннего и летне-осеннего сезонов, главную роль играют процессы меридиональной форм атмосферной циркуляции, воздействие которой на сток осуществляется, через увлажнение территории.

Таким образом, формирование речного стока находится в прямой зависимости от характера увлажнения территории. Оно определяется синоптическими условиями циркуляцией атмосферы, т. е. барикоциркуляционными условиями обусловленные господством меридиональной, западной и восточной форм. Причины многолетних сезонных колебаний стока зависят от частоты повторяемости циклонов и анти-

циклонов. Интенсивное развитие циклонической деятельности наблюдается при повторяемости меридиональной циркуляции. Антициклоническая деятельность связана с активизацией восточной формы.

Сезонный сток находится в прямой зависимости от повторяемости меридиональной и обратной от восточной форм циркуляции. В летний период при активизации С формы циркуляции происходит увеличение стока рек, а с активизацией формы Е наблюдается его уменьшение. При аномальном развитии восточной формы в весенний период происходит быстрое таяние снега, обуславливая, тем самым, высокое половодье. Меридиональная циркуляция приводит к замедлению схода снега, в результате чего весеннее половодье оказывается не большим, что не противоречит исследованиям А.С. Шкляева (1964).

В многолетних сезонных колебаниях стока преобладают ритмы 2–4, 6–8, 11–14, 17–19, 22–23 года. В весенний период для всех рек области характерна различная длительность ритмов. Ведущие ритмы рек Челябинской области относящихся к Камскому бассейну составили – 3–4 и 18 лет, Тобольскому бассейну – 7–8, 13–14 и 18 лет, Уральскому – 2–3, 7–8, 13–14 лет. В летне-осенний период для рек Зауралья характерно наличие более продолжительных ритмов по отношению к рекам Предуралья 3–4, 7–8 лет. Ведущие ритмы Зауралья более устойчивы и составляют 6–7, 17–18, 22–23. В зимнюю межень самыми распространенными и устойчивыми вариациями для рек области (Камский и Тобольский бассейны) являются ритмы – 6–7, 13–14, 17–18 лет. На юго-западе области представленной реками бассейна Урала, наблюдается уменьшение длительности ритмов – 3–4, 6–7, 11–14 лет. Длительность ритмов в основном увеличивается в южном направлении и с запада на восток. Причем многолетние колебания рек Предуралья и Зауралья различны, смещение ритмов по территории составляет 1–3 и более лет.

При определении степени синхронности в многолетних колебаниях сезонного стока рек наибольшая теснота связи характерна для рек расположенных в однотипных природных условиях и в пределах бассейна одной реки. Наибольшей степенью синхронности колебаний стока характеризуется летне-осенний период ( $r=0,7 - 0,9$ ,  $\delta_r = 0,02 - 0,08$  %). В зимнее время стоку рек области свойственна асинхронность. Коэффициент корреляции между стоком меженного периода составляет  $r=0,3 - 0,7$ ,  $\delta_r = 0,08 - 0,15$  %.

Формирование речного стока находится в прямой зависимости от характера увлажнения территории. Оно определяется синоптическими условиями циркуляцией атмосферы, т.е. барико-циркуляционными условиями обусловленные господством меридиональной, западной и

восточной форм. Причины многолетних сезонных колебаний стока зависят от частоты повторяемости циклонов и антициклонов. Интенсивное развитие циклонической деятельности наблюдается при повторяемости меридиональной циркуляции. Антициклоническая деятельность связана с активизацией восточной формы.

Водность рек весеннего периода находится в прямой связи от повторяемости меридиональной формы С циркуляции ( $r=0,72$ ;  $\delta_r=0,06$ ), но по мере продвижения на юго-восток связь ослабевает ( $r=0,42$ ;  $\delta_r=0,11$ ). В летне-осенний период наблюдается ослабление связи стока с повторяемостью формы С циркуляции в Предуралье ( $r=0,64$ ;  $\delta_r=0,10$ ). Водность рек весеннего и летне-осеннего периодов находится в обратной зависимости в период активизации восточной формы Е, как в Предуралье, так и в Зауралье ( $r=-0,73 - 0,46$ ;  $\delta_r=0,06 - 0,10$ ). Зависимость сезонного стока от повторяемости западной формы W циркуляции четко выраженной связи не обнаружено.

## ГЛАВА 7. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК

Как показали исследования, колебания сезонного гидрологического режима рек за многолетний период и метеорологических факторов, влияющих на них, определяются, главным образом, атмосферными циркуляционными процессами. В то же время, характер их проявления в зависимости от подстилающей поверхности оказывается неоднородным. Поэтому изменение гидрологических характеристик, происходит неодинаково на рассматриваемой территории.

Среди работ, посвященных районированию Урала по характеру многолетних колебаний стока, следует отметить исследования В.Д. Быкова, А.С. Шкляева, Т.П. Девятковой, М.А. Андреевой, Н.С. Рассказовой и др.

Общая схема районирования территории Урала была представлена в работах П.С. Кузина (1960, 1970), где в общем плане рассматривался характер многолетнего стока рек. Более подробное районирование осуществлено В.Д. Быковым (1963), где автор рассматривал роль географических факторов в формировании стока рек Урала. В основе районирования лежит тесная связь гидрологических явлений с природной средой.

Большого внимания заслуживает районирование Среднего и Южного Урала А.С. Шкляева (1965) по преобладающему влиянию форм атмосферной циркуляции на речной сток. На основе анализа взаимодействия циркуляционных процессов с подстилающей поверхностью и характера их влияния на гидрометеорологические условия, им были выделены районы с однородными по характеру воздействия форм атмосферной циркуляции на сток.

Т.П. Девятковой (1969а) выполнено районирование территории Среднего Предуралья по преобладающему воздействию циркуляции на сток. В основу этого районирования положены особенности распределения осадков за теплое и холодное полугодие, среднемноголетний период. А также особенности распределения сезонного стока по территории Среднего Предуралья за многолетний период во время активизации разных форм циркуляции. В результате исследования была подтверждена схема районирования А.С. Шкляева (1965).

Выделение гидрологических районов в бассейне р. Тобол по условиям формирования годового стока проводилось К.Е. Орловой (1968). При этом учитывались особенности циркуляционных процессов на территории Урала. В исследовании проведена подробная детализация районирования, обусловленная характером воздействия атмосферной циркуляции на гидрометеорологический режим, в результате предложенная схема оказалась близкой к районированию А.С. Шкляева (1965).

Исследование М.А. Андреевой (1983) посвящено районированию территории Челябинской области по особенностям внутригодового распределения стока. При выделении районов учитывались внутригодовые количественные показатели стока. В результате было выявлено четыре гидрологических района, на основании сходных климатических и гидрологических условий рек.

Районирование территории Тобольского бассейна по характеру колебаний годового стока представлено в работе Н.С. Рассказовой (1992). Более подробное исследование Камского и Тобольского бассейнов приведено в следующем исследовании Н.С. Рассказовой (2003). При выделении гидрологических районов учитывались связи с космо- и геофизическими факторами. Анализ результатов исследований показал, что структура колебаний величин стока характеризуется набором циклов, локализованных преимущественно в пределах районов с синхронными колебаниями стока. Установлено, что районы, обособляющиеся по синхронности, имеют особенности в ритмике стока рек.

А.Я. Румянцевой (1962) по признакам климатообразования на территории Челябинской области выполнено климатическое районирование. Выделение районов производилось с учетом особенностей рельефа, количества осадков и с особенностями атмосферной циркуляции.

В работе Л.Ф. Силаевой (1974) предложено районирование Урала на основе особенностей географического распределения численного параметра ( $\alpha$ ), характеризующего характер стока внутри теплого сезона года. Данное районирование является неполным, так как учитывало наблюдения только одного гидрологического периода.

М.А. Андреевой (1973) проводилось выявление районов по характеру многолетних колебаний увлажнения и водного режима озер с учетом характера влияния форм атмосферной циркуляции и синфазности водного режима. Следующей работой (Андреева, 1976) районирование территории Урала выполнено на основе особенностей многолетних колебаний гидрометеорологических элементов и их связи с атмосферной циркуляцией. При выделении районов учитывались количественные показатели ритмов колебания увлажнения, температуры воздуха, а также значения и знак аномалий при основных формах циркуляции.

Районирование Челябинской области по другим признакам было выполнено Н.П. Шелковской (1962) – по карстовым провинциям западной части области, Н.П. Хитряковой (1983) – агроклиматическое районирование.

Анализ сопоставления схем районирования, предложенных разными авторами, позволил произвести выделение границ районов Челябинской области по характеру многолетних колебаний сезонного стока рек.

С целью установления закономерностей многолетних колебаний сезонного стока рек, автором произведено районирование с учетом их синхронности по 17 гидрологическим постам наблюдения равномерно расположенных по территории Челябинской области (табл. 7.1).

Основным методом исследования являлась версия кластерного анализа, разработанная Н.С. Рассказовой (2003) и реализованная в ИС «Природа». Ее суть заключается в выделении кластеров на основе многомерной матрицы с последующим выбором оптимального уровня сходства и числа кластеров.

Таблица 7.1

*Посты на реках Челябинской области,  
данные по которым использованы при построении дендрограмм*

№ п/п	Река – пост	№ п/п	Река – пост
1	р. Юрюзань – Вязовая	10	р. Синара – В. Ключевское
2	р. Юрюзань – Екатериновка	11	р. Увелька – Карсинский
3	р. Сим – Миньяр	12	р. Увелька – Красносельское
4	р. Уфа – Нязепетровск	13	р. Карталыаят – Карталы
5	р. Ай – Златоуст	14	р. Теча – Муслюмово
6	р. Ай – Веселовка	15	р. Урал – Верхнеуральск
7	р. Миасс – Костыли	16	р. Урал – Кизильское
8	р. Уй – Степное	17	р. Гумбейка – Наваринский
9	р. Уй – Плодопитомник		

Версия характеризуется достаточно простым представлением результатов в виде дендрограммы (или дерева ветвления), показывающих какие группы рек (или кластеры) образуются на каждом уровне корреляции (или сходства). В данной версии сводится к минимуму субъективизм исследователя при выборе уровня кластеризации.

При использовании кластерного анализа определялся оптимальный уровень сходства согласно критерию Дорофеюка – Лумельского. За каждый исследуемый сезон результаты представлялись в виде дендрограмм двух видов расчетной и графической. В первом случае дендро-

грамма имеет вид таблицы и представляет собой последовательности объединяемых в кластеры номеров объектов, заложенных в виде временных рядов, на каждом уровне сходства –  $R$  (от  $-0,1$  до  $+1$ ). В графической таблице слева приводится таблица численных значений различных критериев  $J_1 - J_2$  или  $D_j$  качества кластеризации объектов на этих же уровнях сходства. По их максимуму выбирается оптимальный вариант разбиения на кластеры, а следовательно, и наиболее вероятное положение границ районов. Для подтверждения вероятности попадания объектов (рек) в ту или иную группу рассчитывался ранговый критерий корреляции Спирмэна и критические точки распределения Стьюдента определяющие величину вероятности связи двух рядов (Приложения 3.1, 3.2, 3.3). В гидрологии связь считается надежной при вероятности не менее 95 % (Румянцев, 2000). Сущность критериев качества кластеризации подробно изложена в работе А.А. Дорофеюка и В.Я. Лумельского (1973), Н.С. Рассказовой (2003). Для проверки обоснованности полученного кластерного решения использовался метод повторной выборки (Олдендерфер, 1989).

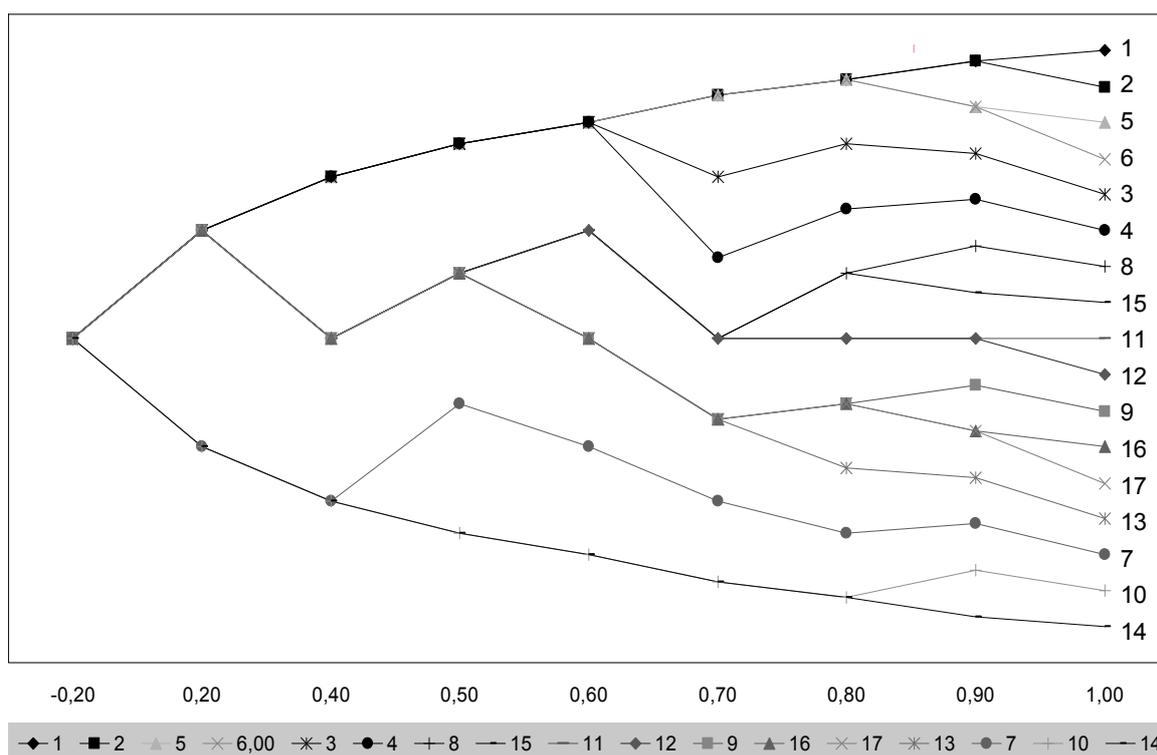


Рис. 7.1. Дендрограмма синхронности колебаний весеннего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

На рис. 7.1 изображена графическая дендрограмма, которая представляет собой древо ветвления, где каждая ветвь – есть совокупность

объектов (рек) или кластер. В табл. 7.2 представлена расчетная дендрограмма, определяющая связь многолетних колебаний, за определенный период времени, в данном случае – весеннего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

Таблица 7.2

*Расчетная дендрограмма весеннего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.*

№	Уровень	$J_1 - J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,520	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,062	-0,065	1-2 3 4 5-6 7 8 9 10 11-12 13 14 15 16-17
2	0,80	0,197	0,169	1-2-5-6 3 4 7 8-15 9-16-17 10-14 11-12 13
3	0,70	0,241	0,205	1-2-5-6 3 4 7 8-15-11-12 9-16-17-13 10-14
4	0,60	0,318	0,262	1-2-5-6-3-4 7 8-15-11-12 9-16-17-13 10-14
5	0,50	0,339	0,300	1-2-5-6-3-4 7 8-15-11-12-9-16-17-13 10-14
6	0,40	0,352	0,308	1-2-5-6-3-4 7-10-14 8-15-11-12-9-16-17-13
8	0,20	0,391	0,442	1-2-5-6-3-4-8-15-11-12-9-16-17-13 7-10-14
12	-0,20	0,520	1,000	1-2-5-6-3-4-8-15-11-12-9-16-17-13-7-10-14

Как уже отмечалось, критерием, позволяющим определить качественную кластеризацию, является оптимальный вариант разбиения на кластеры, который выбирается по максимальному значению  $J_1 - J_2$  или  $D_j$ , а следовательно, выявляется наиболее вероятное положение границ районов.

За оптимальный уровень, в данном случае, согласно критерию Доррофеюка-Лумельского принят уровень  $R = 0,6$ , где  $J_1 - J_2 = 0,318$  и  $D_j = 0,262$ . На данном уровне происходит своеобразный «скачок» значения одного из критериев –  $J_1 - J_2$ . Далее он плавно уменьшаются к последнему  $R = 1$  уровню. На  $R = 0,6$  образуются пять кластеров.

В первый кластер входят реки горно-лесной зоны Предуралья. Он формируется на уровне  $R = 0,7$  и состоит из одного подкластера представленного реками: р. Юрюзань – Вязовая, р. Юрюзань – Екатериновка, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка и двух одиночных подкластеров (р. Сим – Миньяр, р. Уфа – Нязепетровск) объекты которых, можно выделить в два подрайона. Вероятность связи между объектами внутри кластера высокая ( $P > 99,9\%$ ), что свидетельствует о синхронности колебаний весеннего стока рек выделяемого района. Второй кластер формируется на  $R = 0,7$  представлен реками центральной части области:

р. Уй – Степное, р. Урал – Верхнеуральск, р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское. Вероятность связи составляет более 99,9 %, поэтому данный район можно обособить.

В третьем кластере, на уровне 0,7 группируются реки степного Зауралья (р. Уй – Плодопитомник, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский, р. Карталыаят – Карталы). Высокий уровень связности ( $P > 99,9 \%$ ) подтверждает выделение этого района.

Четвертый кластер – одиночный, пост на р. Миасс – Костыли. Его присоединение к другим кластерам происходит на уровне  $R=0,4$ , что свидетельствует об асинхронности колебаний весеннего стока и обособление бассейна реки Миасс в лесостепной подрайон.

Последний, пятый кластер сформирован на более высоком 0,8 уровне, но вероятность связи между гидрологическими постами высокая ( $P > 99 \%$ ), что дает возможность выделить данные реки лесостепного Зауралья в отдельный подрайон (р. Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслюмово).

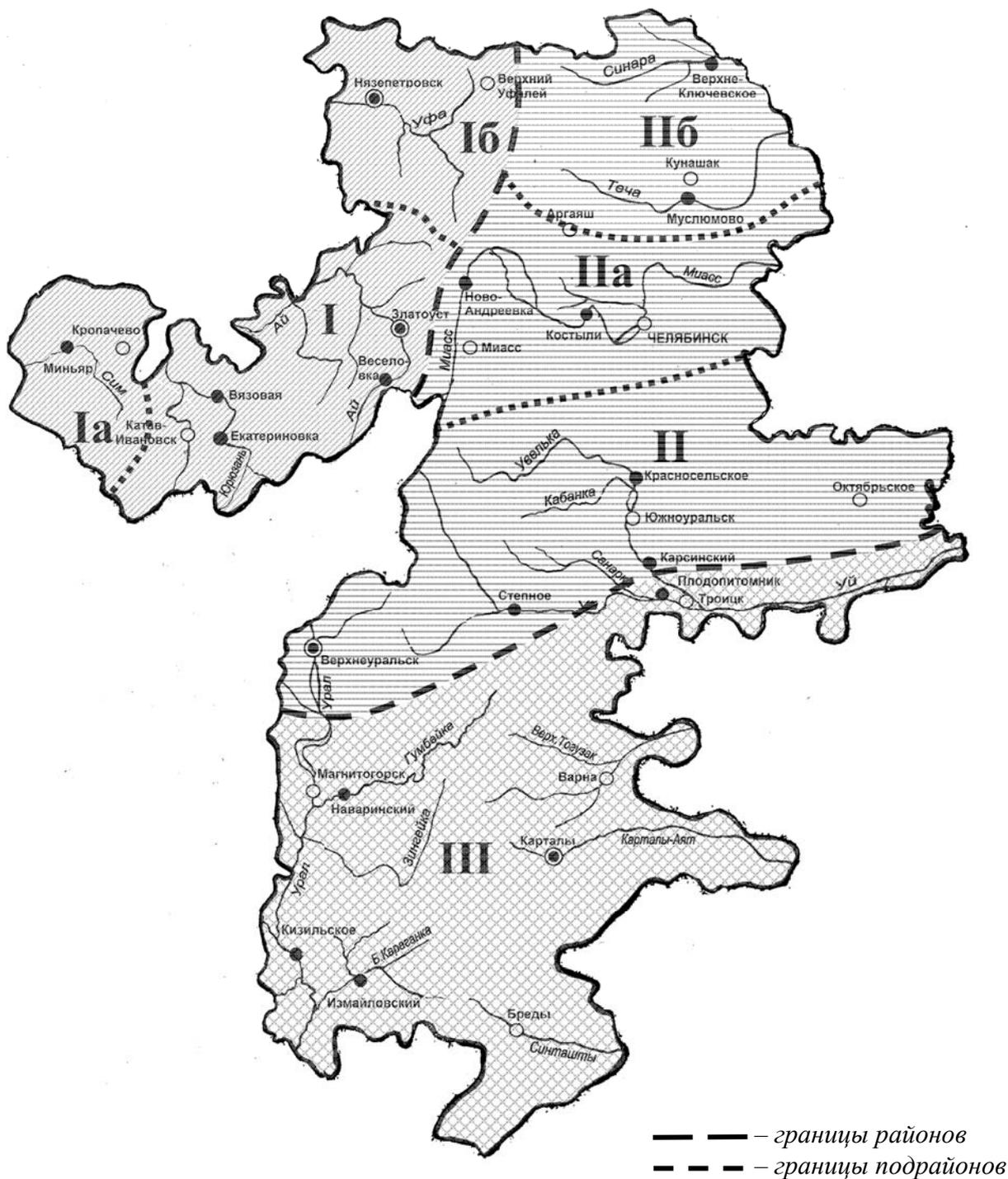
Таким образом, за весенний период на территории Челябинской области можно выделить три района и четыре подрайона с синхронными колебаниями весеннего стока: Предуральский горно-лесной район, Западный горно-лесной подрайон, Северный горно-лесной подрайон, Зауральский лесостепной район, Северный лесостепной подрайон, Центральный лесостепной подрайон, Южный степной район (рис. 7.2). Определение границ районов и подрайонов проводилось с учетом центров тяжести водосборов рек. Для более детального исследования синхронности многолетних колебаний сезонного стока анализировались дендрограммы летнего, осеннего, зимнего периодов.

Анализ дендрограммы летнего периода 1968–2003 гг. показывает, что оптимальным уровнем кластеризации является  $R=0,6$ , где  $J_1 - J_2=0,390$  и  $D_j=0,328$  (рис. 7.3, табл. 7.3). На нем образуются шесть кластеров.

В первый кластер входят реки Предуралья (р. Юрюзань – Вязовая, р. Юрюзань – Екатериновка, р. Сим – Миньяр, р. Уфа – Нязепетровск, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка), их объединение происходит на высоком  $R=0,7$  уровне. Вероятность связи составляет более 99,9 %, что говорит о синхронности колебаний летнего стока рек и позволяет выделить отдельный район.

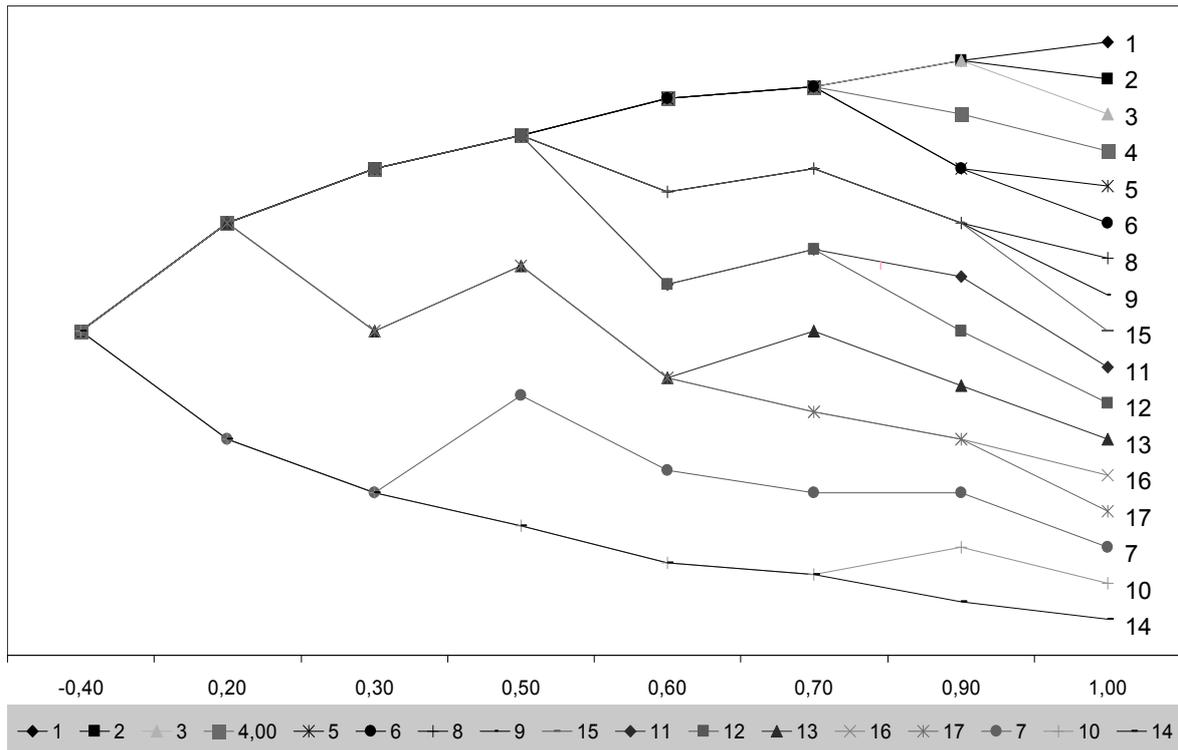
Второй кластер представлен р. Уй – Степное, р. Уй – Плодопитомник, р. Урал – Верхнеуральск, формируется на высоком кластерном уровне  $R=0,9$  ( $P > 99,9 \%$ ), что дает возможность группировать реки (объекты).

Третий кластер образован на 0,7 уровне ( $P > 99,9 \%$ ) и состоит из рек лесостепного Зауралья: р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское.



I – Предуральский горно-лесной район: Ia – Западный горно-лесной подрайон, Ib – Северный горно-лесной подрайон;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIb – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.2. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний весеннего стока рек за период 1968 – 2003гг.



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.3. Дендрограмма синхронности колебаний летнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

Таблица 7.3

Расчетная дендрограмма летнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,477	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	0,106	0,106	1-2-3 4 5-6 7 8-9-15 10 11 12 13 14 16-17
3	0,70	0,362	0,309	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15 10-14 11-12 13 16-17
4	0,60	0,390	0,328	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15 10-14 11-12 13-16-17
5	0,50	0,426	0,434	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12 7 10-14 13-16-17
7	0,30	0,435	0,442	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12 7-10-14 13-16-17
8	0,20	0,561	0,780	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12-13-16-17 7-10-14
14	-0,40	0,477	1,000	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12-13-16-17-7-10-14

Так как их уровень связности с объектами предыдущего кластера (р. Уй – Степное, р. Уй – Плодопитомник, р. Урал – Верхнеуральск) составляет более 99,9 %, поэтому их можно объединить в один гидрологический район.

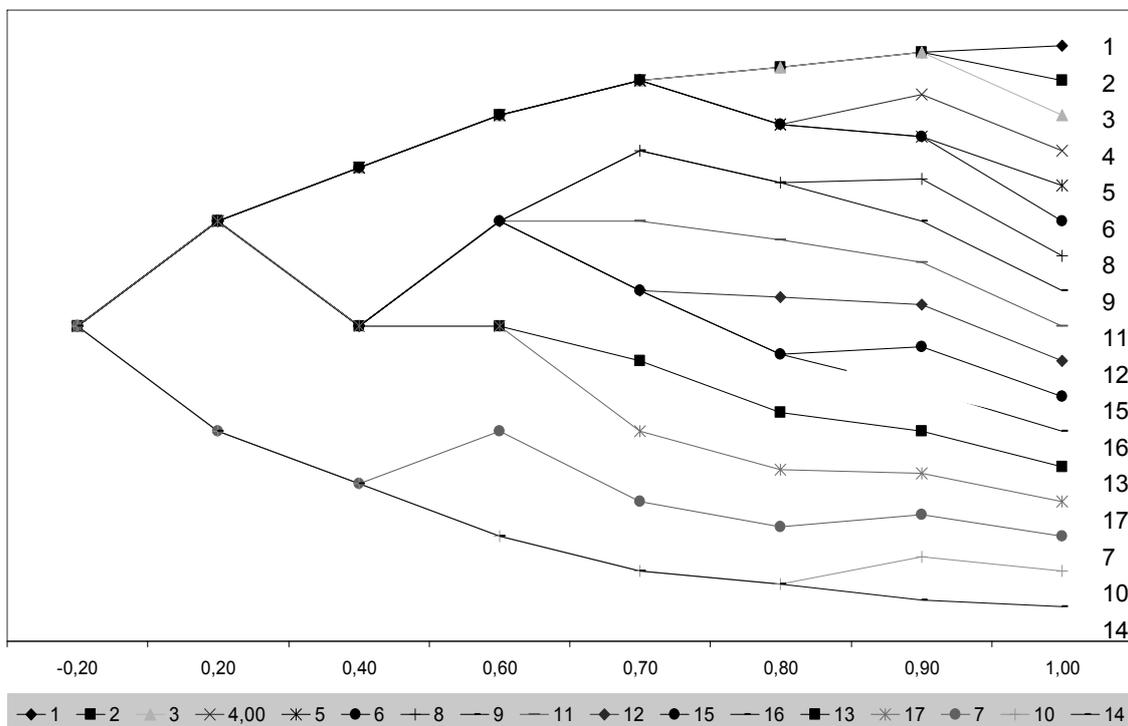
Четвертый кластер включают реки степного Зауралья ( $R=0,6$ ) – р. Карталыаят – Карталы, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский. Достоверность связи между объектами в кластере более 99,9 %, что позволяет утверждать о наличии синхронности колебаний летнего стока рек данного района.

Пятый кластер – одиночный и представлен постом на р. Миасс – Костыли. Его объединение с другими постами происходит на низком уровне  $R=0,3$  и связность составляет менее 95 %, следовательно, объект можно определить в отдельный гидрологический подрайон.

Шестой кластер включает в себя посты на реках севера Зауралья в пределах Челябинской области (р. Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслумово). Объединение происходит на уровне  $R=0,8$ . Высокий уровень связности объектов (рек) позволяет их выделить отдельный гидрологический подрайон Зауралья.

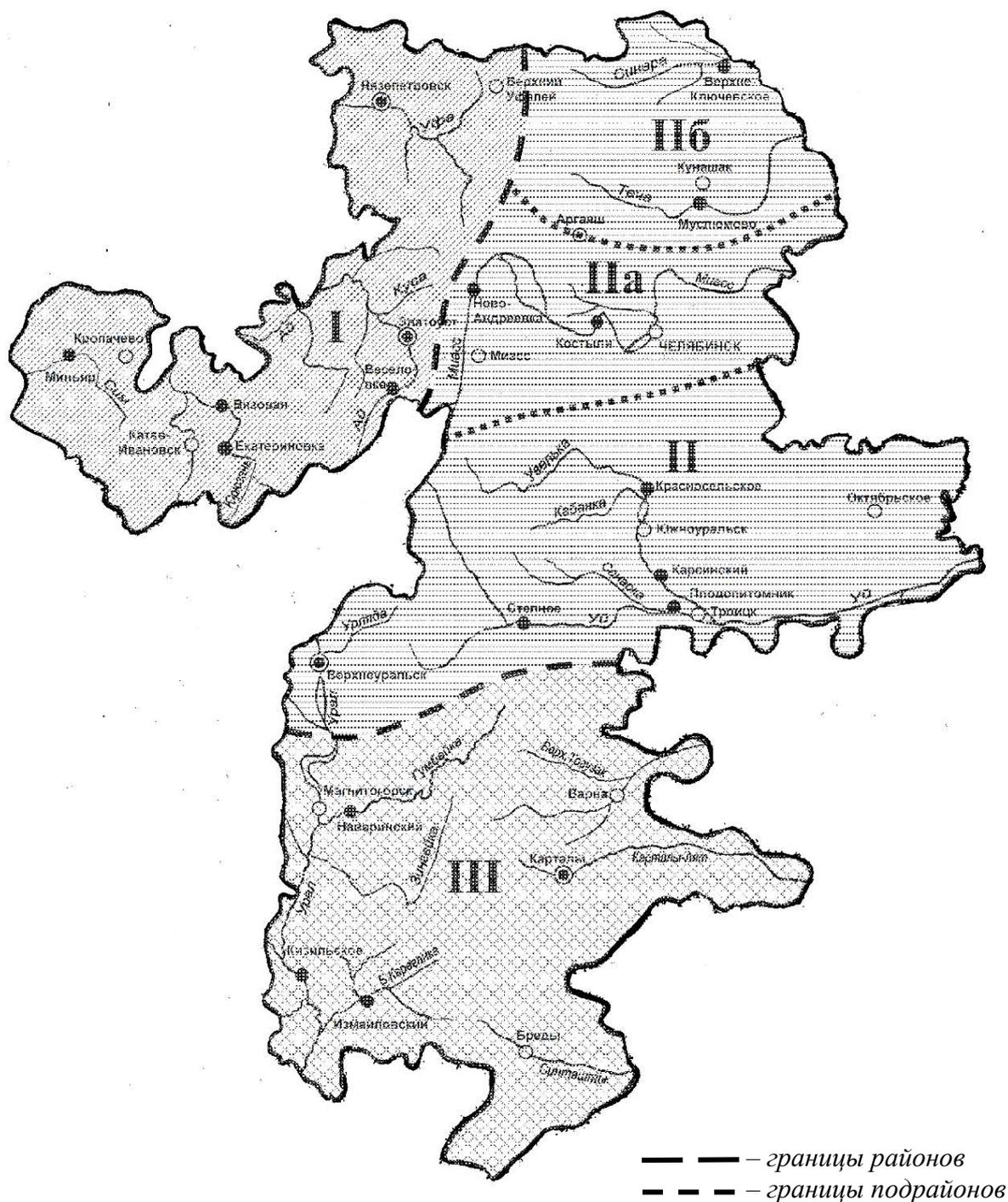
Границы выделенных районов по синхронности колебаний летнего стока за период 1968–2003 гг. представлены на рис. 7.4.

Дендрограмма синхронности колебаний стока рек осеннего периода 1968–2003 гг. (рис. 7.5, табл. 7.4) представлена для подтверждения результатов полученных за летний период. Исходя из ее анализа, следует, что границы районов по многолетним синхронным колебаниям летнего стока, совпадают (рис. 7.6).



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.5. Дендрограмма синхронности колебаний стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.



I – Предуральский горно-лесной район:  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.4. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний летнего стока рек за период 1968 – 2003 гг.

Таблица 7.4

Расчетная дендрограмма осеннего стока рек  
Челябинской области за 1968–2003 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	–0,500	–1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	–0,207	–0,270	1-2-3 4 5-6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
2	0,80	0,161	0,146	1-2-3 4-5-6 7 8-9 10-14 11 12 13 15-16 17
3	0,70	0,212	0,194	1-2-3-4-5-6 7 8-9 10-14 11 12-15-16 13 17
4	0,60	0,357	0,307	1-2-3-4-5-6 7 8-9-11-12-15-16 10-14 13-17
6	0,40	0,375	0,336	1-2-3-4-5-6 7-10-14 8-9-11-12-15-16-13-17
8	0,20	0,400	0,475	1-2-3-4-5-6-8-9-11-12-15-16-13-17 7-10-14
12	–0,20	0,500	1,000	1-2-3-4-5-6-8-9-11-12-15-16-13-17-7-10-14

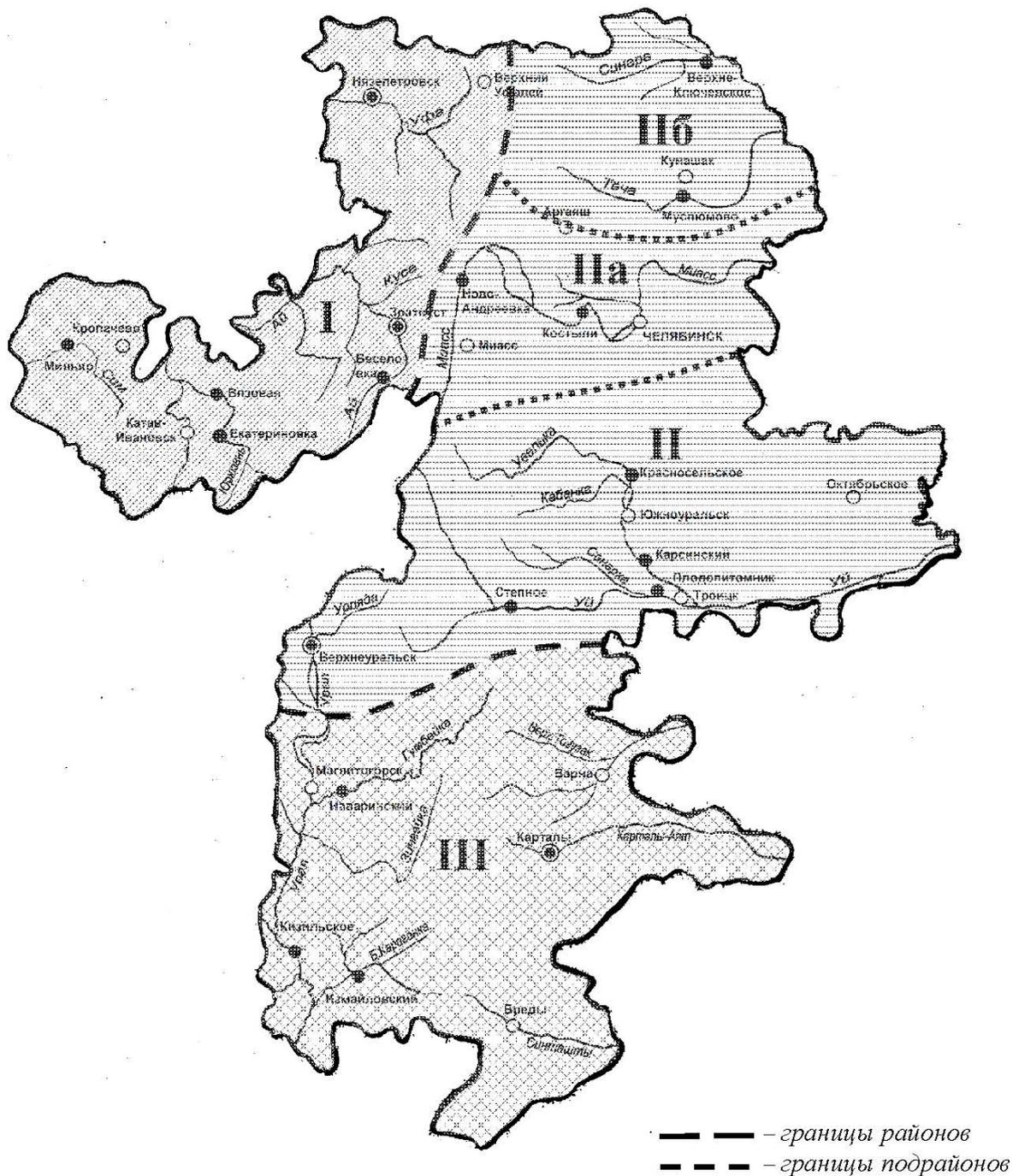
В зимний период вероятность связи в кластерах между объектами (реками) в гидрологических районах сильно варьирует ( $P = 90,0 - 99,9 \%$ ). Особенно, на реке Карталыаят – Карталы, где связность по отношению к другим объектам составляет менее 90 %. Все это приводит к изменению границ гидрологических районов по отношению к границам весеннего и летне-осеннего периодам. Возможной причиной этого является переход рек на подземное питание.

При анализе дендрограмм зимнего периода за 1968–2003 гг. (рис. 7.7, табл. 7.5) выделяется оптимальный уровень кластеризации  $R = 0,6$  ( $J_1 - J_2 = 0,393$  и  $D_j = 0,374$ ), на нем формируется семь кластеров.

Первый кластер объединяется на высоком уровне  $R = 0,8$  и включает объекты (реки) горно-лесной зоны: р. Сим – Миньяр, р. Юрюзань – Вязовая, р. Юрюзань – Екатериновка. Так как связь внутри кластера составляет  $P > 99,9 \%$ , их можно группировать в подрайон Предуралья.

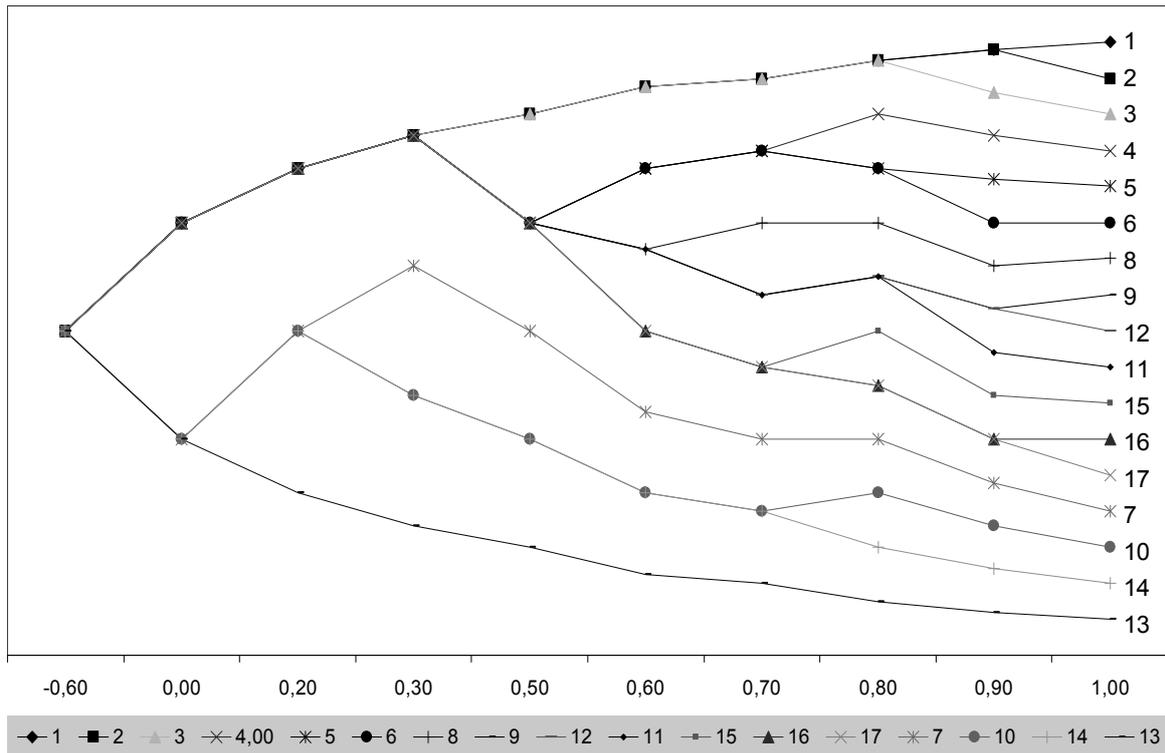
Второй кластер формируется на  $R = 0,7$  уровне ( $P > 99,9 \%$ ) и представлен постами на реках: р. Уфа – Нязепетровск, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка. Связность объектов первого и второго кластеров более  $> 99,9 \%$ , что определяет их синхронность и группирует реки в отдельный гидрологический район.

Третий кластер  $R = 0,8$  состоит из двух подкластеров. Первый, является одиночным (р. Уй – Степное). Второй подкластер, объединяет посты на реках: р. Уй – Плодопитомник, р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское. Так как уровень связности между объектами первого и второго подкластеров составляет  $P > 99,9 \%$ , то все объекты третьего кластера можно объединить в один район.



- I – Предуральский горно-лесной район;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.6. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний осеннего стока рек за период 1968 – 2003 гг.



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.7. Дендрограмма синхронности колебаний зимнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

Таблица 7.5

Расчетная дендрограмма зимнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,387	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,037	-0,052	1-2 3 4 5 6 7 8 9-12 10 11 13 14 15 16-17
2	0,80	0,162	0,185	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12-11 10 13 14 15 16-17
3	0,70	0,342	0,334	1-2-3 4-5-6 7 8 9-12-11 10-14 13 15-16-17
4	0,60	0,393	0,374	1-2-3 4-5-6 7 8-9-12-11 10-14 13 15-16-17
5	0,50	0,447	0,520	1-2-3 4-5-6-8-9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
7	0,30	0,546	0,889	1-2-3-4-5-6-8-9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
8	0,20	0,543	0,915	1-2-3-4-5-6-8-9-12-11-15-16-17 7-10-14 13
10	0,00	0,526	0,919	1-2-3-4-5-6-8-9-12-11-15-16-17 7-10-14-13
16	-0,60	0,387	1,000	1-2-3-4-5-6-8-9-12-11-15-16-17-7-10-14-13

Четвертый кластер группируется на уровне  $R=0,7$  ( $P >99,9\%$ ) и представлен реками южного Зауралья (р. Урал – Верхнеуральск, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский).

Пятый кластер является одиночным (р. Миасс – Костыли), его связь с другими кластерами происходит на низких уровнях  $R=0,0$ ,  $R=0,2$ , что позволяет обособить объект в гидрологический подрайон.

Шестой кластер  $R=0,7$  объединяет реки лесостепной зоны Зауралья (Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслюмово). Связность между объектами составляет  $P >99,9\%$ , поэтому их можно объединить.

Последний, седьмой кластер одиночный (р. Карталыаят – Карталы), его объединение с другими кластерами происходит на уровне  $R=0,0$ ,  $R=-0,6$ , что свидетельствует об асинхронности многолетних колебаний зимнего стока р. Карталыаят – Карталы по отношению к другим рекам области. Это позволяет обособить объект в подрайон степного Зауралья.

Границы районов и подрайонов по синхронности колебаний зимнего стока за период 1968–2003 гг. представлены на рис. 7.8.

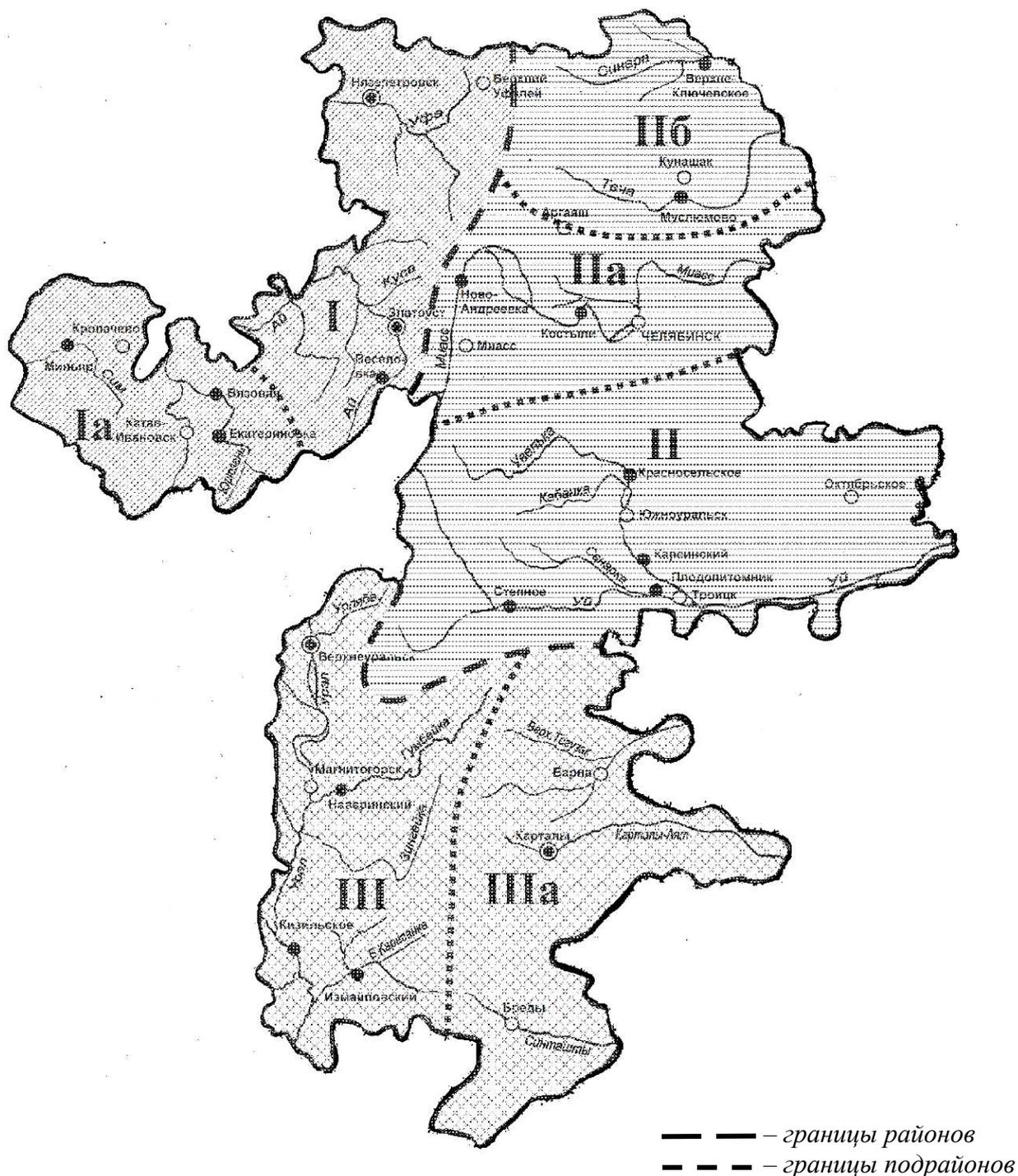
Как указывалось выше, для проверки обоснованности выделенных гидрологических районов и подрайонов на территории Челябинской области использовался метод повторной выборки. Его преимуществом является то, что он позволяет оценить степень повторяемости кластерного решения в серии наборов данных. Если для различных выборок из одной и той же совокупности получается одинаковое кластерное решение, то делается вывод, что это решение присуще всей совокупности (Олдендерфер, 1989).

В качестве дополнительного ряда использовался период с 1968–1998 гг. При исследовании синхронности колебаний весеннего стока (рис. 7.9, табл. 7.6), выбран оптимальный уровень ( $R=0,7$ ,  $J_1 - J_2=0,192$  и  $D_j=0,160$ ) для разбиения на кластеры. На данном уровне формируется семь кластеров.

Первый кластер представлен реками горно-лесной зоны области (р. Юрюзань – Вязовая, р. Юрюзань – Екатериновка, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка,).  $P >99,9\%$ , свидетельствует о высокой связи между объектами внутри кластера, поэтому их можно заключить в один гидрологический район.

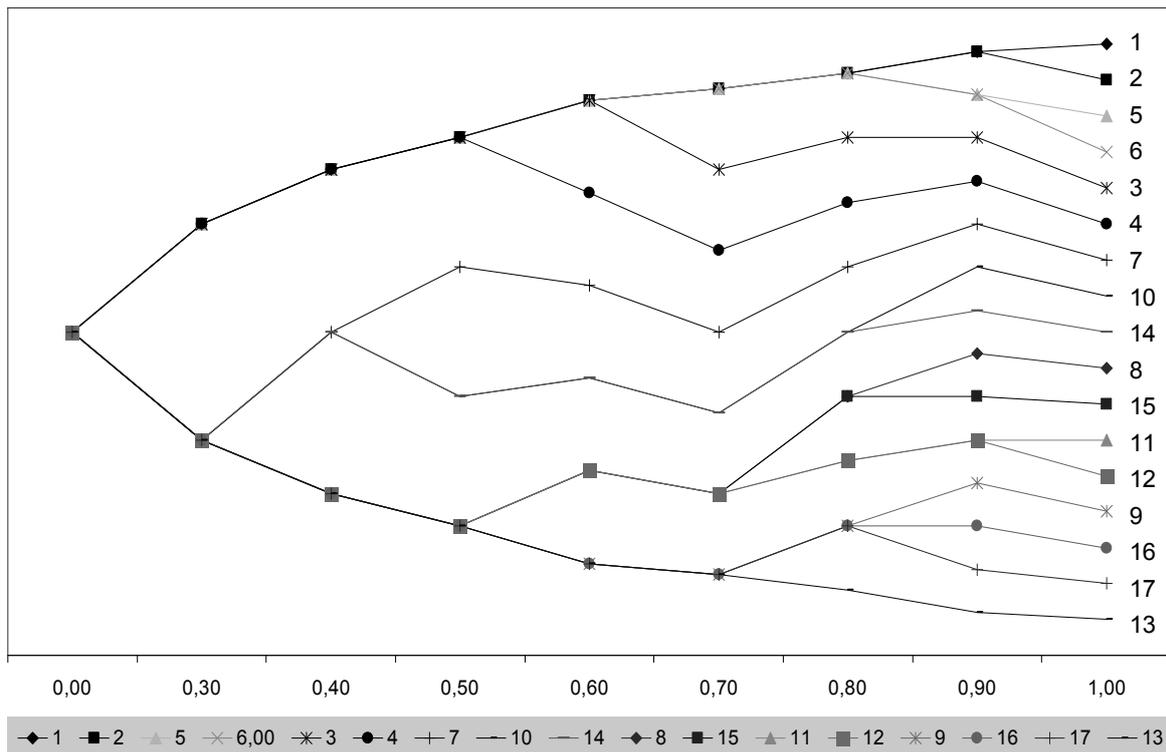
Второй и третий кластеры являются одиночными и представляют реки Предуралья (р. Сим – Миньяр, р. Уфа – Нязепетровск) их объединение с первым кластером происходит на  $R=0,6$  и  $R=0,5$  уровнях, при  $P >99,9\%$ , что позволяет обособить их в отдельные подрайоны.

Четвертый кластер является одиночным и представлен постом на р. Миасс – Костыли. Его объединение с другими, кластерами происходит на уровне  $R=0,3$  и  $R=0,4$ , поэтому данный объект обособлен.



*I – Предуральский горно-лесной район: Ia – Западный горно-лесной подрайон;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон,  
 IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район: IIIa – Юго-восточный степной подрайон*

*Рис. 7.8. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний зимнего стока рек за период 1968 – 2003 гг.*



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.9. Дендрограмма синхронности колебаний весеннего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

Таблица 7.6

Расчетная дендрограмма весеннего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,551	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,202	-0,229	1-2 3 4 5-6 7 8 9 10 11-12 13 14 15 16 17
2	0,80	0,157	0,131	1-2-5-6 3 4 7 8-15 9-16-17 10-14 11-12 13
3	0,70	0,192	0,160	1-2-5-6 3 4 7 8-15-11-12 9-16-17-13 10-14
4	0,60	0,224	0,184	1-2-5-6-3 4 7 8-15-11-12 9-16-17-13 10-14
5	0,50	0,272	0,232	1-2-5-6-3-4 7 8-15-11-12-9-16-17-13 10-14
6	0,40	0,276	0,235	1-2-5-6-3-4 7-10-14 8-15-11-12-9-16-17-13
7	0,30	0,260	0,234	1-2-5-6-3-4 7-10-14-8-15-11-12-9-16-17-13
10	0,00	0,551	1,000	1-2-5-6-3-4-7-10-14-8-15-11-12-9-16-17-13

Пятый кластер ( $R=0,8$ ) включает реки лесостепного Зауралья (р. Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслюмово). Высокая связность внутри кластера ( $P > 99,9 \%$ ) подтверждает обособление данного объекта.

Шестого кластер ( $R=0,7$ ) включает реки степного и лесостепного Зауралья: р. Уй – Степное, р. Урал – Верхнеуральск, р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское. Уровень связности группы составляет более 99,9 %, что свидетельствует о высокой степени синхронности и обособленности данного района.

В седьмой кластер ( $R=0,7$ ) входят реки степного Зауралья: р. Уй – Плодопитомник, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский, р. Карталыаят – Карталы при вероятности связи  $P > 99,9 \%$ , в связи с этим можно выделить гидрологический район степного Зауралья.

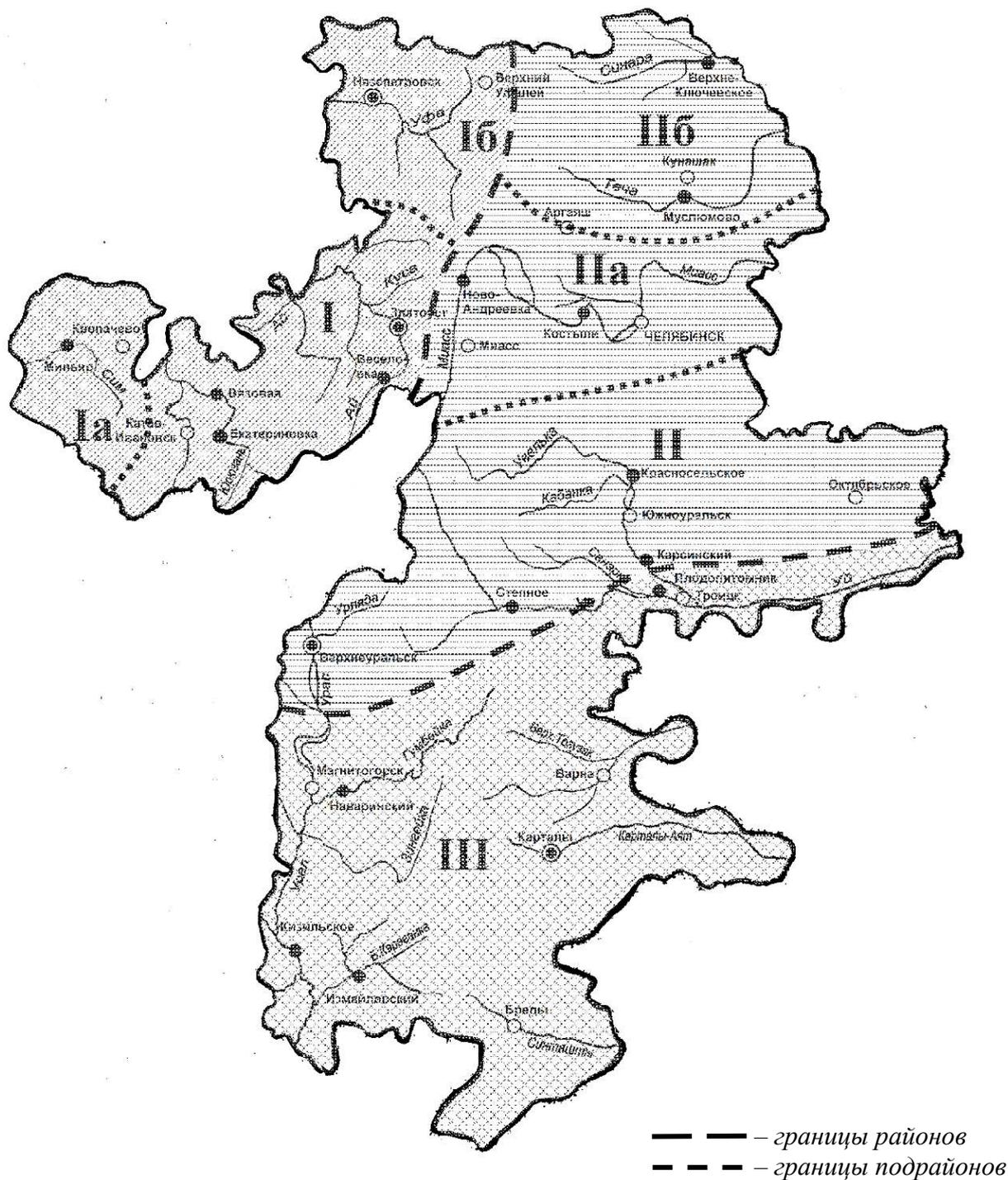
Границы гидрологических районов по синхронности колебания весеннего стока рек за период 1968–1998 гг. представлены на рис. 7.10.

На дендрограмме летнего периода (рис. 7.11, табл. 7.7) с 1968–1998 гг. «скачок» происходит на  $R=0,5$ , где  $J_1 - J_2=0,351$  и  $D_j=0,332$ , на котором формируются четыре кластера.

Первый кластер представлен тремя подкластерами. Первый подкластер формируется на высоком уровне сходства ( $R=0,7$ ) и представлен реками Предуралья Предуралья: р. Юрюзань – Вязовая, Юрюзань – Екатариновка, р. Уфа – Нязепетровск, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка, р. Сим – Миньяр при  $P > 99,9 \%$  можно выделить гидрологический район Предуралья. Формирование второго подкластера происходит на уровне  $R=0,6$  и группирует реки: р. Уй – Степное, р. Уй – Плодопитомник, р. Урал – Верхнеуральск. Третий подкластер ( $R=0,8$ ) объединяет реки: р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское. Высокий уровень связности  $P > 99,9 \%$ , между объектами второго и третьего подкластеров позволяет их обособить в один гидрологический район.

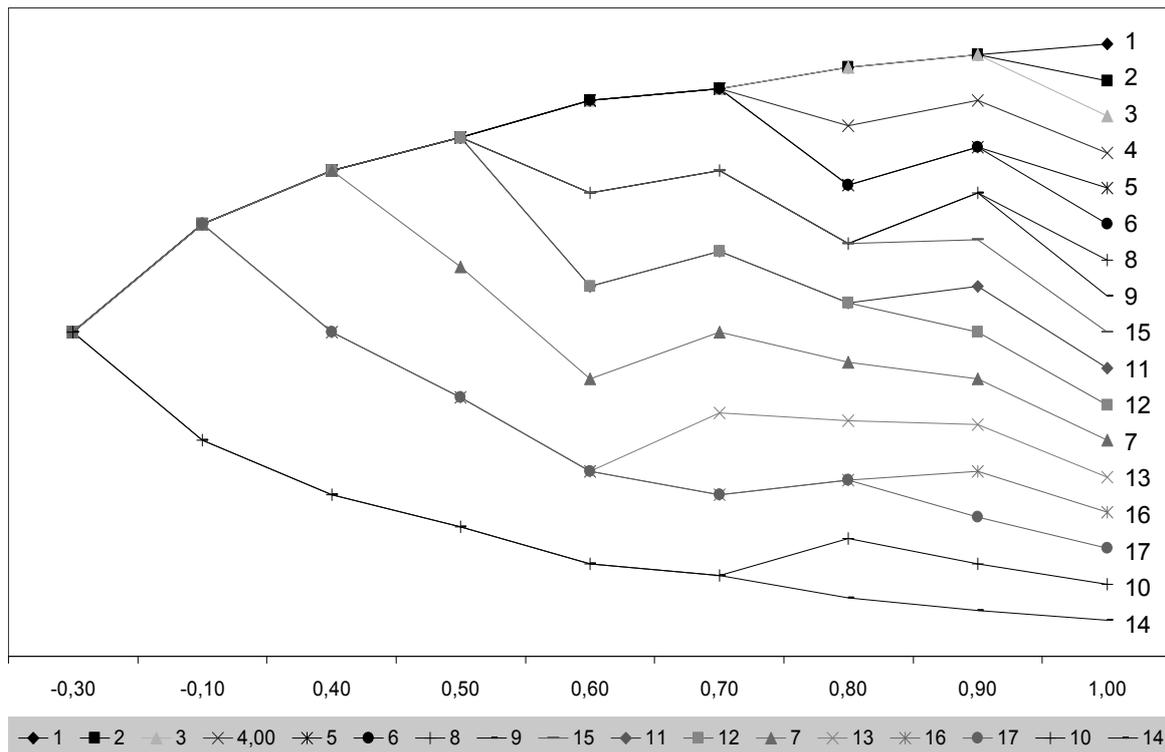
Второй кластер – одиночный (р. Миасс – Костыли), его объединение с другими кластерами происходит на уровне  $R=0,4$  и  $R=-0,1$ , что подтверждает асинхронность колебаний с другими гидрологическими объектами.

Третий кластер включает реки степного Зауралья (р. Карталыаят – Карталы, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский). Высокая вероятность связей внутри кластера ( $P > 99,9 \%$ ) позволяет обособить реки степного Зауралья в один гидрологический район.



- I – Предуральский горно-лесной район: Ia – Западный горно-лесной подрайон, Ib – Северный горно-лесной подрайон;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.10. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний весеннего стока рек за период 1968 – 1998 гг.



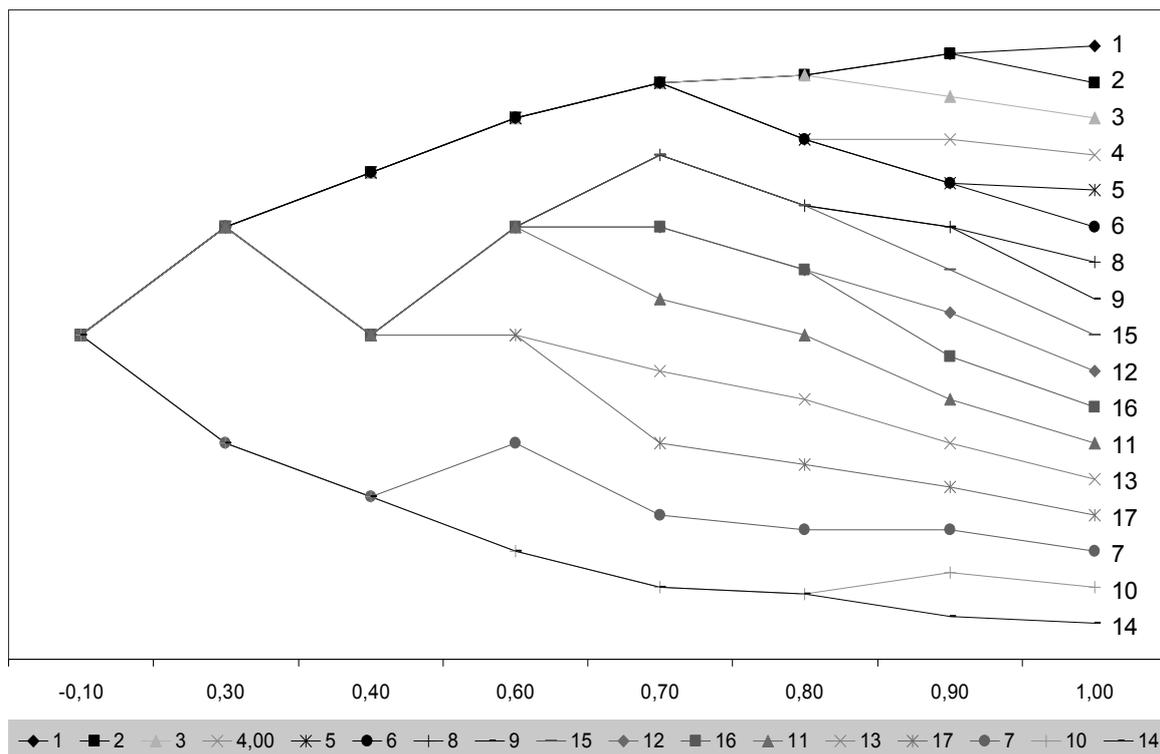
(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.11. Дендрограмма синхронности колебаний летнего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

Таблица 7.7

Расчетная дендрограмма летнего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,523	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,118	-0,132	1-2-3 4 5-6 7 8-9 10 11 12 13 14 15 16 17
2	0,80	0,145	0,128	1-2-3 4 5-6 7 8-9-15 10 11-12 13 14 16-17
3	0,70	0,304	0,249	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15 10-14 11-12 13 16-17
4	0,60	0,335	0,269	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15 10-14 11-12 13-16-17
5	0,50	0,351	0,332	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12 7 10-14 13-16-17
6	0,40	0,391	0,373	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12-7 10-14 13-16-17
11	-0,10	0,522	0,670	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12-7-13-16-17 10-14
13	-0,30	0,523	1,000	1-2-3-4-5-6-8-9-15-11-12-7-13-16-17-10-14



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.12. Дендрограмма синхронности колебаний осеннего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

Таблица 7.8

Расчетная дендрограмма осеннего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,545	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,195	-0,223	1-2 3 4 5-6 7 8-9 10 11 12 13 14 15 16 17
2	0,80	0,166	0,139	1-2-3 4-5-6 7 8-9-15 10-14 11 12-16 13 17
3	0,70	0,171	0,149	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15 10-14 11 12-16 13 17
4	0,60	0,307	0,251	1-2-3-4-5-6 7 8-9-15-12-16-11 10-14 13-17
6	0,40	0,304	0,257	1-2-3-4-5-6 7-10-14 8-9-15-12-16-11-13-17
7	0,30	0,280	0,288	1-2-3-4-5-6-8-9-15-12-16-11-13-17 7-10-14
11	-0,10	0,545	1,000	1-2-3-4-5-6-8-9-15-12-16-11-13-17-7-10-14

Формирование четвертого кластера происходит на более высоком уровне сходства  $R=0,7$ . Кластер представлен реками лесостепного Зауралья (Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслюмово). Вероятность связей внутри кластера составляет более 99,9 %, что обособляет этот подрайон.

Границы выявленных районов по синхронности колебания летнего стока рек за период 1968–1998 гг. представлены на рис. 7.13.

Дендрограмма осеннего периода за 1968–1998 гг. (рис. 7.12, табл. 7.8) использована для подтверждения полученных результатов за летний период. Из представленной дендрограммы, следует, что границы выделенных районов, совпадают (рис. 7.14).

Оптимальным уровнем кластеризации дендрограммы зимнего периода за 1968–1998 гг., является  $R=0,4$  ( $J_1 - J_2=0,298$  и  $D_j=0,323$ ), на нем формируется шесть кластеров (рис. 7.15, табл. 7.9).

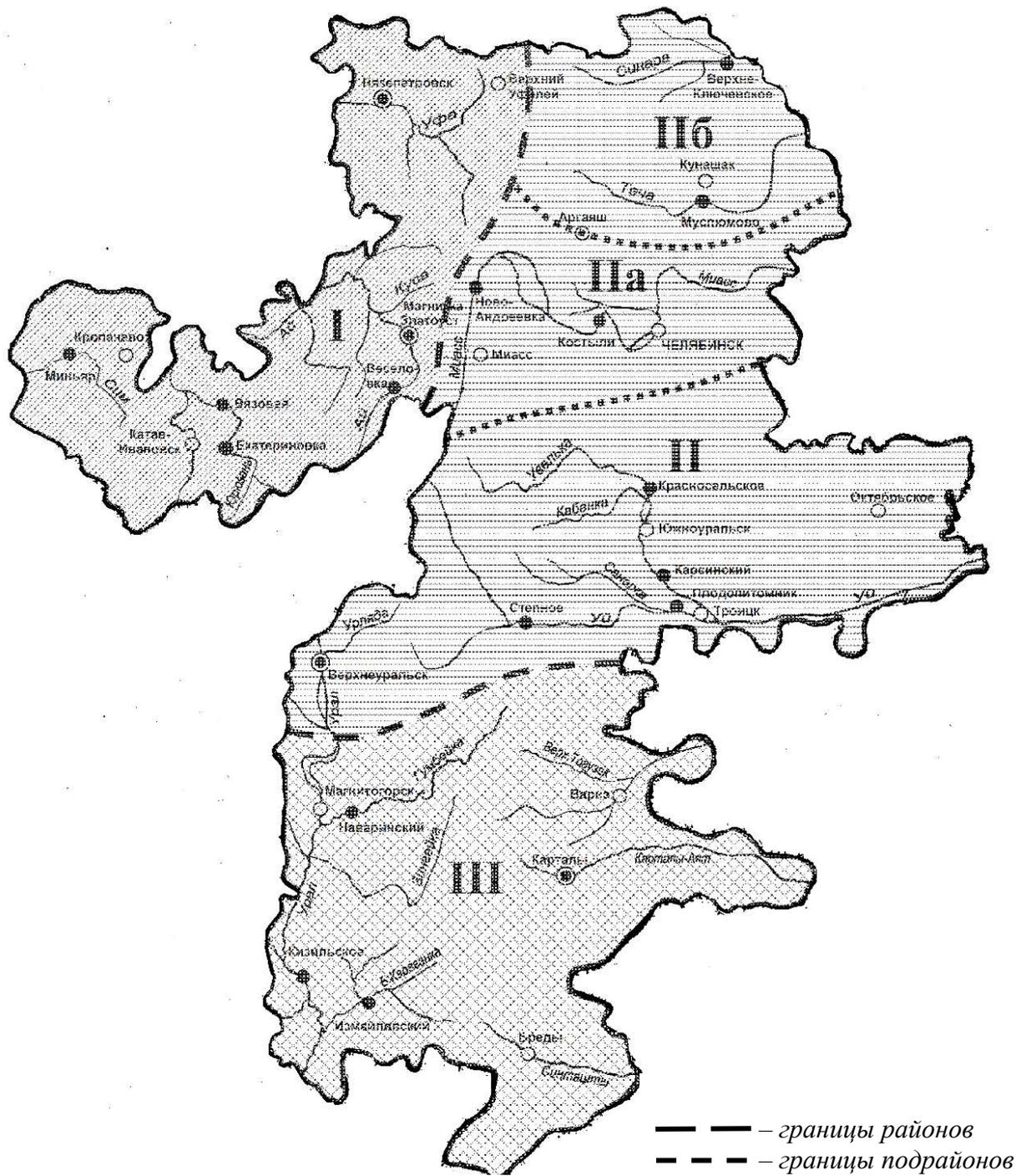
Первый кластер состоит из двух подкластеров. Первый, формируется на достаточно высоком уровне кластеризации ( $R=0,7$ ) и включает объекты (реки) горно-лесной зоны области: р. Сим – Миньяр, р. Юрюзань – Вязовая, р. Юрюзань – Екатериновка. Высокий уровень связности внутри подкластера ( $P >99,9 \%$ ) позволяет выделить их в подрайоны. Второй подкластер формируется на  $R=0,5$ , ( $P >99,9 \%$ ) и представлен реками: р. Уфа – Нязепетровск, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка. Высокий уровень связности ( $P >99,9 \%$ ) с первым подкластером позволяет обособить отдельный гидрологический район.

Второй кластер представлен постами на реках: р. Урал – Верхнеуральск, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский. Их объединение происходит на высоком уровне  $R=0,7$  ( $P >99,9 \%$ ), что группирует объекты в подрайон.

Третий кластер ( $R=0,7$ ) включает реки лесостепной зоны (р. Уй – Степное, р. Уй – Плодопитомник, р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское). Вероятность с постами в кластере составляет  $P >99,9 \%$ , поэтому данные объекты можно объединить в отдельный район.

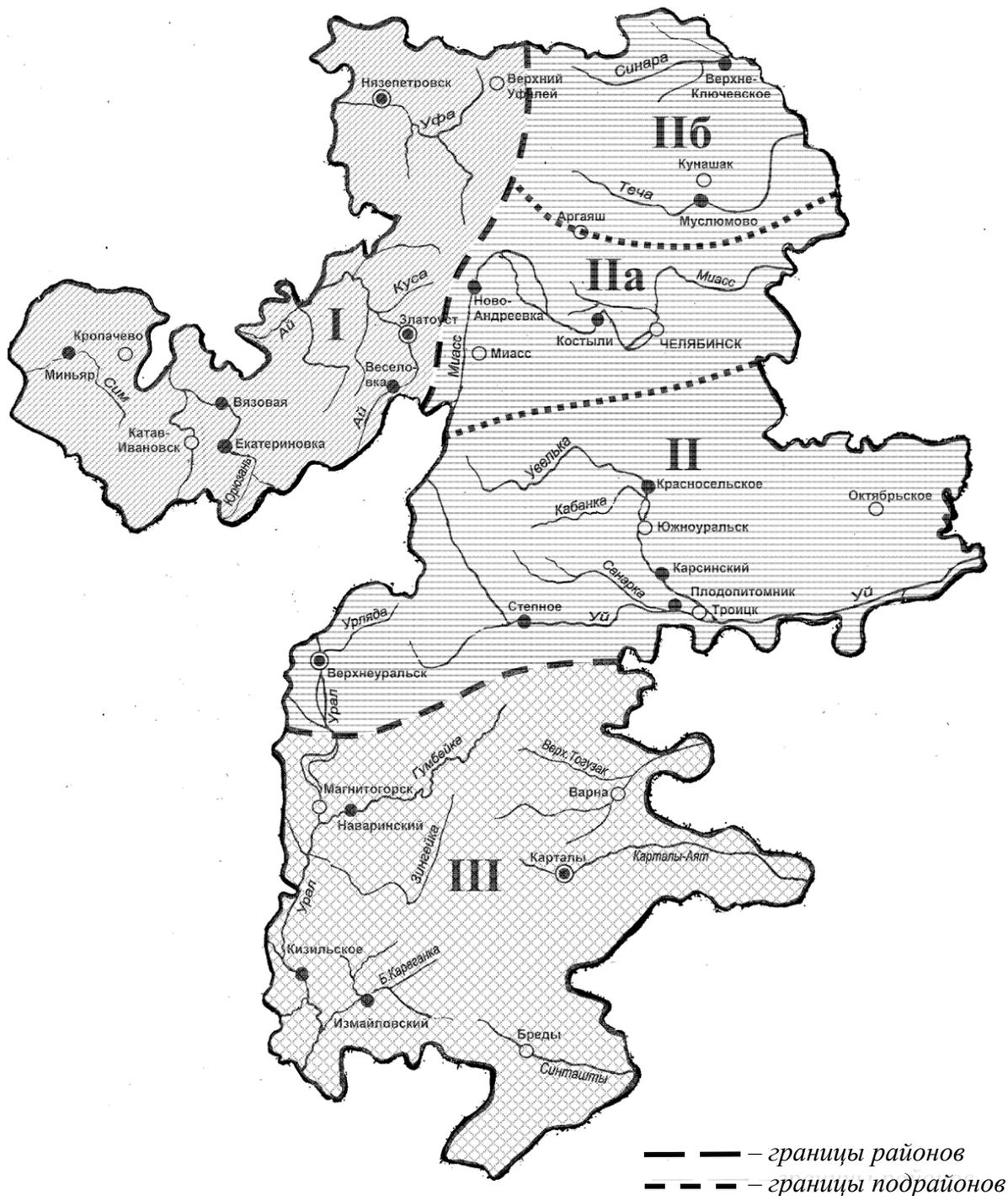
Четвертый (р. Миасс – Костыли) и пятый (р. Карталыаят – Карталы) кластеры одиночные их объединение происходит на  $R=0,2$ , а с другими кластерами  $R = -0,4$  уровне при связности  $P <90 \%$  с разными объектами, что свидетельствует об их асинхронности, соответственно, их можно определить в отдельные подрайоны.

Последний шестой кластер ( $R=0,7$ ) представлен реками лесостепной зоны Зауралья (Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслюмово). Связность внутри кластера составляет более 99,9 %, что позволяет определить их в подрайон Зауралья. Границы гидрологических районов по синхронности колебания зимнего стока рек за период 1968–1998 гг. представлены на рис. 7.16.



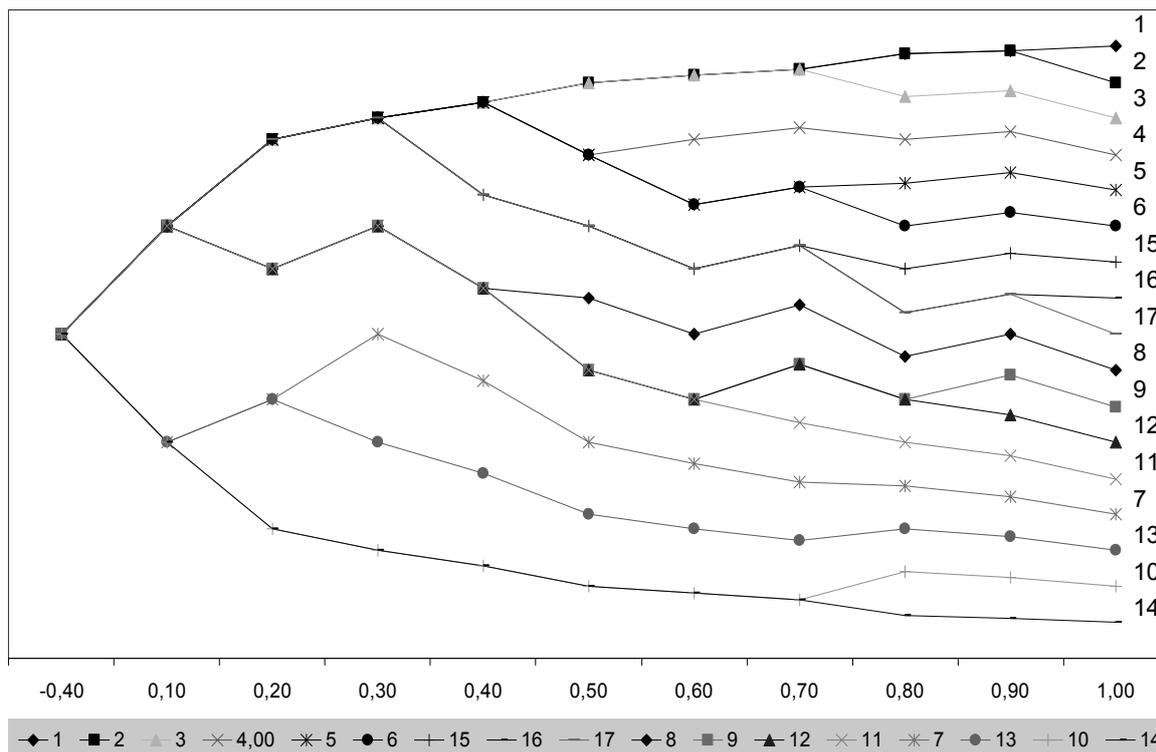
I – Предуральский горно-лесной район;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.13. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний летнего стока рек за период 1968 – 1998 гг.



I – Предуральский горно-лесной район;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон, IIb – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район

Рис. 7.14. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний осеннего стока рек за период 1968 – 1998 гг.



(№ постов на реках соответствуют табл. 7.1)

Рис. 7.15. Дендрограмма синхронности колебаний зимнего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

Таблица 7.9

Расчетная дендрограмма зимнего стока рек Челябинской области за 1968–1998 гг.

№	Уровень	$J_1-J_2$	$D_j$	Кластеры
0	1,00	-0,377	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,145	-0,245	1-2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16-17
2	0,80	-0,039	-0,057	1-2 3 4 5 6 7 8 9-12 10 11 13 14 15 16-17
3	0,70	0,229	0,249	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12 10-14 11 13 15-16-17
4	0,60	0,263	0,278	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12-11 10-14 13 15-16-17
5	0,50	0,293	0,304	1-2-3 4-5-6 7 8 9-12-11 10-14 13 15-16-17
6	0,40	0,298	0,323	1-2-3-4-5-6 7 8-9-12-11 10-14 13 15-16-17
7	0,30	0,272	0,329	1-2-3-4-5-6-15-16-17 7 8-9-12-11 10-14 13
8	0,20	0,296	0,347	1-2-3-4-5-6-15-16-17 7-13 8-9-12-11 10-14
9	0,10	0,298	0,471	1-2-3-4-5-6-15-16-17-8-9-12-11 7-13-10-14
14	-0,40	0,377	1,000	1-2-3-4-5-6-15-16-17-8-9-12-11-7-13-10-14

В результате совместного анализа сезонных дендрограмм за периоды 1968–1998 гг. и 1968–2003 гг., внутрирайонных коэффициентов корреляции Спирмэна и вероятностей внутри и межкластерных связей (Приложения 3.1, 3.2, 3.3), а также ритмов колебания сезонного стока с учетом природной зональности, позволило установить существование гидрологических районов с синхронным колебаниями стока рек и выполнить районирование территории Челябинской области. В результате анализа установлено три района и пять подрайонов с синхронными колебаниями сезонного стока рек:

*I – Предуральский горно-лесной район;*

*Ia – Западный горно-лесной подрайон;*

*Iб – Северный горно-лесной подрайон;*

*II – Зауральский лесостепной район;*

*IIa – Центральный лесостепной подрайон;*

*IIб – Северный лесостепной подрайон;*

*III – Южный степной район*

*IIIa – Юго-восточный степной подрайон*

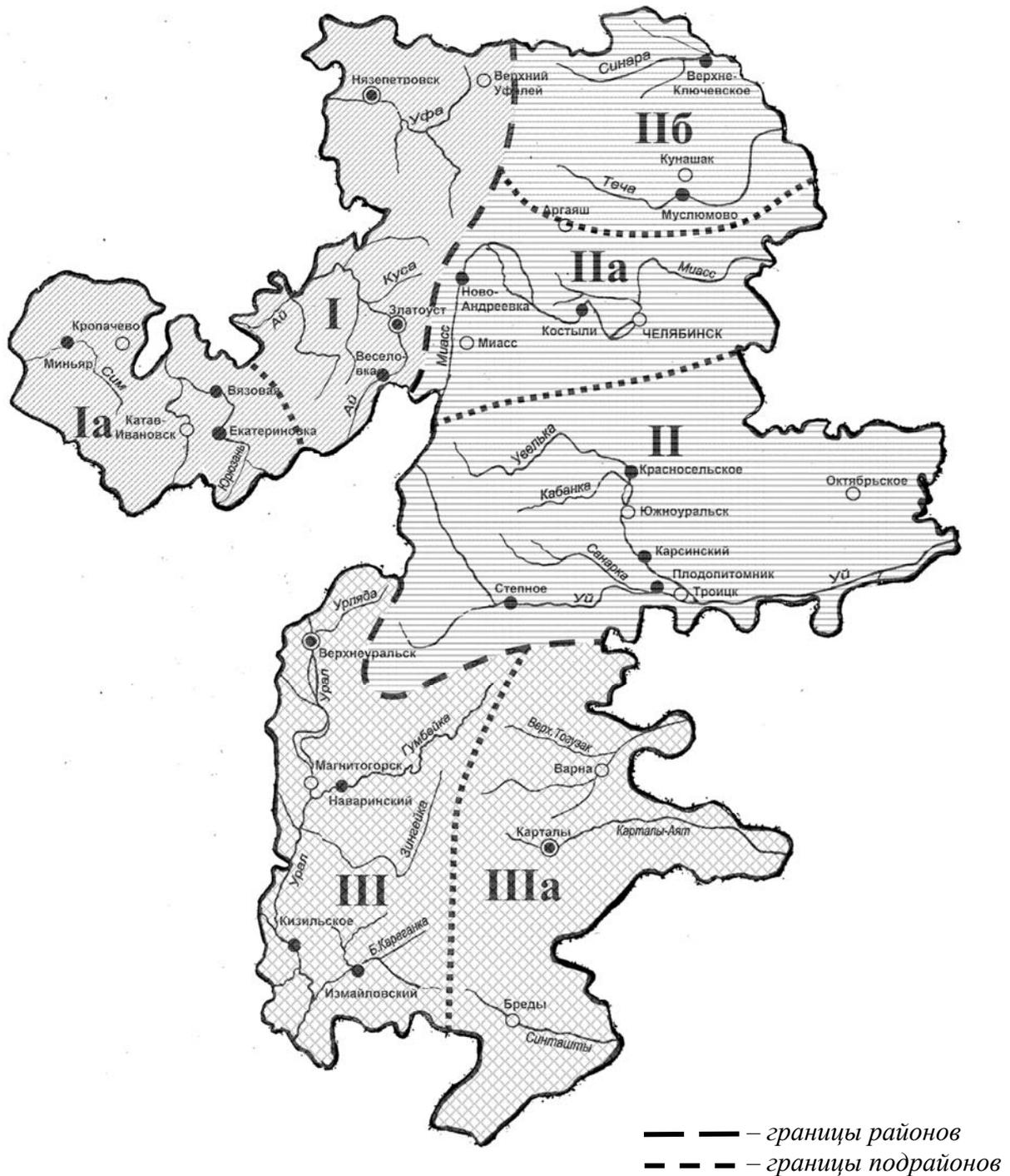
Краткая характеристика районов представлена в табл. 7.10.

Из таблицы следует, что структура колебаний ритмов в сезонном стоке рек Челябинской области увеличивается в южном направлении и с запада на восток. Превалирующие ритмы горно-лесной зоны области (Предуральский горно-лесной район) составляют 2–4 года, а в Зауралье (Зауральский лесостепной район, Южный степной район) преобладающие ритмы – 6–7, 17–18 лет.

Исследования автором многолетних колебаний сезонного стока рек позволили уточнить результаты, полученные ранее другими исследователями. Сопоставление полученной схемы районирования с районированием по различным признакам других авторов (Шкляев, 1965; Андреева, 1973; Рассказова, 1992, 2003 и др.), показало, что положения границ районов по результатам исследований многолетних колебаний сезонного стока не противоречат, а дополняют результаты, предложенные предыдущими исследователями (рис. 7.17).

Например, автором уточнено положение границы между Зауральским лесостепным районом и Южным степным районом. Полученное положение границы не противоречит исследованиям К.Е. Орловой (1968), Н.С. Рассказовой (1992, 2003), а подтверждает смещение границ гидрологических районов в разные сезоны года.

Установлено, что выявленные гидрологические районы обособляются не только по ритмам многолетних колебаний сезонного стока, но и по синхронности колебаний, одинаково локализованных на определенной территории. Это показывает на тесную взаимосвязь сезонного стока, как по территории, так и во времени.



*I – Предуральский горно-лесной район: Ia – Западный горно-лесной подрайон;  
 II – Зауральский лесостепной район: IIa – Центральный лесостепной подрайон,  
 IIб – Северный лесостепной подрайон;  
 III – Южный степной район: IIIa – Юго-восточный степной подрайон*

*Рис. 7.16. Схема гидрологического районирования территории Челябинской области по характеру многолетних колебаний зимнего стока рек за период 1968 – 1998 гг.*

Таблица 7.10

*Характеристика гидрологических районов  
Челябинской области*

№	Районы и подрайоны	Природная зона	Основные протекающие реки	Преобладающие ритмы (в годах)		
				весна	лето-осень	зима
I	Предуральский горно-лесной район	Горно-лесная	Сим, Юрюзань, Ай, Уфа	2–4, 18	7–8, 22–23	6–7, 17–18
II	Зауральский лесостепной район	Лесо-степная	Синара, Теча, Миасс, Уй, Увелька	6–7, 17–18	6–7, 17–18	6–7, 13–14
III	Южный степной район	Степная	Урал, Гумбейка, Карталы-Аят	2–4, 6–7	17–18, 22–23	6–7, 13–14

Таким образом, автором было установлено три района и пять подрайонов с синхронными колебаниями сезонного стока рек: *Предуральский горно-лесной район*; Западный горно-лесной подрайон; Северный горно-лесной подрайон; *Зауральский лесостепной район*; Центральный лесостепной подрайон; Северный лесостепной подрайон; *Южный степной район*; Юго-восточный степной подрайон.

В весенний период в *Предуральском горно-лесном районе* (р. Ай, Юрюзань) обособляются два подрайона: Западный горно-лесной подрайон (р. Сим), Северный горно-лесной подрайон (р. Уфа), в летне-осенний период происходит объединение подрайонов в один район. Зимний сезон отличается смещением границ гидрологических подрайонов. *Зауральский лесостепной район* (р. Уй, Увелька) характеризуется выделением двух подрайонов: Центральный лесостепной подрайон (р. Миасс) и Северный лесостепной подрайон (р. Синара, Теча), границы, которых постоянны во все сезоны года. Смещение границы района и следующего *Южного степного района* (р. Урал, Гумбейка) происходит в зимний период, когда выделяется Юго-восточный степной подрайон (р. Карталы-Аят).



Гидрологические районы обособляются не только по синхронности многолетних колебаний сезонного стока, но также и по ритмам. Структура колебаний ритмов в сезонном стоке рек Челябинской области увеличивается в южном направлении и с запада на восток. Превалирующие ритмы горно-лесной зоны области (Предуральский горно-лесной район) составляют 2–4 года, а в Зауралье (Зауральский лесостепной район, Южный степной район) преобладающие ритмы – 6–7, 17–18 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конце XX в. свершившийся факт глобального потепления стал признаваться доказанным (Современные глобальные изменения..., 2006; Шикломанов, Георгиевский, 2003, 2004 и др.). Однако неоконченными остаются дискуссии о причинах современных изменений климата (Hydrological Changes..., 2013). Многие ученые признают факт антропогенного изменения климата в результате накопления углекислого газа в атмосфере, другие – твердо уверены, что энергетическая мощь процессов, протекающих в естественном природном цикле, на несколько порядков выше техногенных энергетических возможностей. Ритмы космоса, природная ритмичность и ее фазы оказывают значительное влияние на многие процессы, происходящие на Земле, в том числе на многолетние колебания стока рек, которые являются интегральным показателем изменения климата. Что касается антропогенных изменений климата последних десятилетий, то они вполне обоснованно беспокоят человечество. Они реально существуют, но их значения не сопоставимы с естественными циклическими изменениями климата разной природы. Опасность антропогенных изменений заключается в их необратимости. Кроме того, совокупность накапливающихся антропогенных и циклических естественных изменений климата опасна тем, что существуют периоды лет, когда антропогенные и естественные изменения однонаправлены и могут проявиться с угрожающей стремительностью. Поэтому сведение к минимуму антропогенной составляющей является страховкой для человечества.

Авторы исследовали многолетние годовые и сезонные колебания стока рек Уральского (бассейн р. Тобол, реки Челябинской области) и выявили ведущие ритмы в их колебаниях, глобальные и региональные закономерности их пространственного распределения по территории.

В результате исследования временной и пространственной структуры годового стока рек бассейна р. Тобол и сезонного стока рек одной из наиболее вододефицитных областей бассейна – Челябинской области были получены следующие основные выводы:

1. Структура многолетних колебаний годового стока рек бассейна р. Тобол и сезонных величин стока рек Челябинской области характеризуются набором ведущих внутривековых ритмов продолжительностью: 2–4, 6–8, 11–14, 17–18, 22–23 года, локализованных пре-

имущественно в пределах районов с синхронными колебаниями стока. При этом преобладающим ритмом является 17–18 летний ритм.

2. Ведущие ритмы многолетних колебаний годового и сезонного стока рек характеризуются определенными закономерностями, знание которых позволяет использовать их в целях оптимизации хозяйства и для прогноза климатических изменений. Последняя задача осложняется наличием интерференции ритмов.

Впервые для исследуемых территорий авторами было выполнено районирование территорий по синхронности колебаний водности рек. На основе изучения связи многолетних колебаний годового стока с космо- и геофизическими факторами установлен их генезис и выявлена наиболее полная цепочка их взаимосвязей. Авторами убедительно доказано положение о том, что солнечная активность занимает ведущее место в формировании колебаний атмосферных процессов годового и сезонного стока рек, а, следовательно, и в формировании климата. На основе связи колебаний годового стока с формами атмосферной циркуляции авторами выполнено физическое обоснование зон синхронных и асинхронных колебаний.

Автором первой части монографии – Рассказовой Н.С. особое внимание в исследованиях было уделено связи глобального отклика событий Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) с гидрометеорологическими условиями Уральского региона (на примере рек бассейна р. Тобол). В результате исследованиями было подтверждено, что процессы, развивающиеся при наступлении Эль-Ниньо региональны, но их последствия носят глобальный характер.

Для исследования глобального отклика на ЭНЮК, как одной из причин современного изменения климата и установления возможных причин его возникновения Рассказовой Н.С. были использованы 17 рядов различных космо- и геофизических факторов, построены хронологические графики, графики скользящего осреднения с периодами 5, 15, 25 и 40 лет, проведены Фурье-анализ и кластерный анализ. Анализ полученных результатов и сопоставление их с результатами других исследователей позволили установить, что природные катастрофические явления на территории Уральского региона связаны с глобальным откликом на ЭНЮК. Передача сигнала ЭНЮК на эту территорию осуществляется по «коридору» критических параллелей Стоваса, которые ослабляют его влияние на более высокие широты. Рассказовой Н.С. предложен также предполагаемый механизм передачи глобального отклика ЭНЮК на территорию Уральского региона (2003), требующий дальнейшей проработки на независимом материале.

Автором второй части монографии Бубиным М.Н. особое внимание было уделено детализации и конкретизации исследований многолетних колебаний стока рек Челябинской области. Им установлено, что ритмы, обладающие наибольшей значимостью в разные сезоны года, характеризуются различной продолжительностью на исследуемой территории, реки которой в подавляющем большинстве относятся к бассейну р. Тобол (малые реки северо-западной части области относятся к Камскому бассейну – Предуралье и реки крайнего юга области – к бассейну р. Урал). Бубиным М.Н. было подтверждено, что преобладающим ритмом территории является 17–18-летний ритм приливообразующей силы Луны и Солнца. Вместе с этим автором конкретизированы продолжительность и ареалы распространения этого ритма по территории области по сезонам года.

Установлено, что в *весенний* период в сезонном стоке рек всех трех бассейнов наблюдается ритм продолжительностью 18 лет. При этом в бассейне Камы и Тобола он является ведущим, что подтверждает исследования многолетних колебаний годового стока, выполненных Н.С. Рассказовой (2003). В весенний период ритмы многолетних колебаний стока рек Камского и Тобольского бассейнов более продолжительны в отличие от рек Уральского бассейна, где наблюдается тенденция к уменьшению их длительности.

В сезонном стоке *летне-осеннего* периода наряду с повсеместным распространением 17–18-летней вариации, наблюдается устойчивый 22–23-летний ритм (ритм смены полярности солнечных пятен). Для рек бассейна Урала ритм продолжительностью 22–23 года является ведущим. В этот сезон для рек бассейнов Урала и Тобола характерно наличие более продолжительных ритмов по отношению к рекам Камского бассейна.

Для *зимнего* сезона характерно наличие устойчивого 11–14-летнего солнечно обусловленного ритма, наряду с 17–18 и 6–7 летними ритмами. В этот период для рек области (Камский и Тобольский бассейны) характерно наличие более устойчивых ритмов, по сравнению с реками бассейна Урала. При этом на территории области выделено три района с синхронными колебаниями сезонного стока рек. Один из них лежит в пределах бассейна р. Тобол, что доказывает корректность результатов, полученных обоими авторами.

Авторами на независимом материале подтверждено также, что атмосферные осадки, через увлажнение территории, оказывают решающее влияние на годовой и сезонный сток. Увлажнение, в свою очередь, определяется синоптическими условиями циркуляции атмосферы, в формировании колебаний которых ведущее место занимает солнечная активность.

Особенности многолетних ритмических колебаний годового и сезонного стока, выявленные авторами, могут использоваться при решении различных хозяйственных задач, связанных с колебаниями как годового, так и сезонного стока. Например, при выборе оптимальных параметров гидроузлов при проектировании гидротехнических сооружений; при проектировании водохранилищ (сезонного или многолетнего регулирования), где учет ритмичности позволяет снизить их объем до 10 % и позволяет уменьшить затраты при строительстве. Игнорирование сведений о ритмичности многолетних колебаний стока рек, может привести к частичной затопляемости территории и причинению ущерба и т. д. Что касается климатических изменений, то ведущие ритмы, выявленные авторами в годовых и сезонных колебаниях стока рек могут служить основой для их прогнозирования наряду со знанием изменчивости космо- и геофизических факторов. Академик М.В. Келдыш считал, что прогнозирование климатических изменений станет возможным лишь после создания космической теории климата.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агарков С.Г., И.П. Дружинин, Коноваленко З.П. Многолетние колебания рек в Западной Сибири. Циклическая структура многолетних колебаний годового стока рек Казахстана и Средней Азии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1973. – № 6. – С. 70–75.
2. Акименко Т.А., Евстигнеев В.М. Районирование территорий по синхронности колебаний речного стока // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1999. – № 3.
3. Аликина И.Я. Типы траекторий барических образований, оказывающих влияние на погоду Среднего и Южного Урала, при основных формах циркуляции Г.Я. Вангенгейма // Ученые записки Пермского университета. – 1970. – Вып. 5. – № 246. – С. 122–129.
4. Алисов Б.П. Климатология. – М.: МГУ, 1974. – 228 с.
5. Алехин Ю.М. Проблема причинности в гидрометеорологических прогнозах большой заблаговременности // Труды Ленинградской ГМИ. – Л., 1969. – Вып. 35. – С. 39–45.
6. Алюшинская Н.М. Вертикальная зональность в распределении стока на территории Алтая // Ученые записки ЛГУ. – Л., 1955. – Вып. 16. – № 119. – С. 137–158.
7. Алюшинская Н.М., Островский Г.М., Шахов И.С. О влиянии хозяйственной деятельности на сток рек Среднего Урала // Тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – Вып. 221. – С. 259–265.
8. Андреева М.А. Многолетние колебания уровней озер и их связь с формами атмосферной циркуляции // Вопросы географии Южного Урала. – Челябинск, 1969. – Вып. 3. – С. 96–23.
9. Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала. – Челябинск: Юж.-Ур. кн. изд-во, 1973. – 270 с.
10. Андреева М.А. Синоптические условия увлажнения на территории Урала при основных формах циркуляции // Вопросы географии Южного Урала. – Челябинск, 1975. – Вып. 8. – С. 3–13.
11. Андреева М.А. Районирование территории Урала на основе особенностей многолетних колебаний гидрометеорологических элементов и их связи с атмосферной циркуляцией // Гидрометеорологический режим Южного Урала. – Челябинск: ЧГПИ, 1976. – Вып. 9. – С. 17–31.

12. Андреева М.А. Гидрологический режим рек Челябинской области // Гидрометеорологический режим Южного Урала. – Челябинск: ЧГПИ, 1983. – С. 3–16.
13. Андреева М.А. Многолетние колебания внутригодового хода уровней воды рек Зауралья // Вопросы гидрологии и использования водных ресурсов. – Уфа: Башкирский университет, 1986а. – С. 25–31.
14. Андреева М.А., Калишев В.Б. Реки Челябинской области. – Челябинск: ЧГПИ, 1991. – С. 3–98.
15. Андреева М.А. Макроциркуляционные условия низкой водности рек Южного Урала в летний период // Материалы Международной научной конференции «География и регион IV. Гидрология и охрана водных ресурсов». – Пермь, 2002. – С. 16–19.
16. Андреева М.А., Рассказова Н.С. Многолетние колебания речного стока на Южном Урале. Многолетние колебания гидрометеорологического режима Южного Урала // Межвузовский сб. науч. тр. – Челябинск, 1986. – С. 3–26.
17. Андреев В.Г. Методика расчета внутригодового распределения стока с учетом водности года // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – Вып. 38 (92). – С. 66–167.
18. Андреев В.Г. Методические основы исследования и расчета внутригодового распределения стока // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – Вып. 61. – С. 30–105.
19. Андреев В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – Вып. 18. – С. 3–49.
20. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 319 с.
21. Андреев В.Г. Некоторые уточнения и упрощения методики расчетов календарного внутригодового распределения речного стока применительно к требованиям строительного проектирования // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Вып. 134. – С. 80–114.
22. Апасова Е.Г. Статистические исследования по осадкам земного шара // Труды ВНИИМИ МЦД. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 119. – С. 25–47.
23. Апполов Б.А. Учение о реках. – М.: Изд-во МГУ, 1951.
24. Архипов Ю.А., Блажко Н.И. и др. Математические методы в географии. – Казань: Изд-во КГУ, 1976. – С. 119–224.
25. Архипова Н.П. К истории изучения природы Урала // Проблемы физической географии Урала: Труды Московского общества испытателей природы. – М.: МГУ, 1966. – Т. XVIII. – С. 237–250.

26. Архипова Н.П. История изучения природы Урала // Ученые записки Свердловского педагогического института. – 1967. – Вып. 3. – № 64. – С. 8–55.
27. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. – М.: Наука, 1967. – 231 с.
28. Балков В.А. Влияние карста на режим стока рек юго-восточной части Пермской области // Записки Пермского отделения Географического общества СССР. – Пермь, 1959. – Вып. 1.
29. Балков В.А. Особенности формирования сезонного стока рек Уфы и Белой в связи с ландшафтными условиями // Ученые записки Пермского университета, 1963. – Т. XXIII. – Вып. 3. – С. 70–75.
30. Балков В.А. Влияние карста на водный баланс и сток // Ученые записки Пермского университета. – 1964. – № 112. – С. 114–144.
31. Балков В.А. Влияние карста на сток рек Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 216 с.
32. Балков В.А. Водные ресурсы Башкирии (условия формирования и хозяйственная оценка). – Уфа: Башкирское кн. изд-во, 1978. – 173 с.
33. Баранов В.С. Внутригодовое распределение стока в бассейне р. Вишеры за характерные годы // Ученые записки Пермского университета, 1960. – Т. XV. – Вып. 2. – С. 109–113.
34. Баранов В.С., Шкляев А.С. Паводочный сток рек водосбора Камского водохранилища // Ученые записки Пермского университета, 1963. – Т. XXIII. – Вып. 3. – С. 43–48.
35. Бендат Дж, Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
36. Бережных Т.В., Хамьянова Н.В. Синхронность многолетних колебаний гидрометеоэлементов как источник прогностической информации // Модели природных систем. – М.: Наука, 1978. – С. 179–182.
37. Бережных Т.В. Серии лет повышений и понижений гидрометеоэлементов (причины, свойства, характеристики): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ин-т географии. Сибирск. отд-ние АН СССР. – Иркутск, 1984. – 13 с.
38. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. – М.: Мысль, 1986. – 240 с.
39. Берлянт А.М. Информационное образование в России. Геодезия и картография. – М.: ГУГК, 1998. – № 2. – С. 49–52.
40. Большая советская энциклопедия. Том 5. – М.: Советская энциклопедия, 1975. – С. 40.
41. Бубин М.Н. Ритмика внутригодового стока рек Челябинской области // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий:

- материалы II региональной научно-практической конференции. – Челябинск, 2006. – С. 53–56.
42. Бубин М.Н. Ритмичность сезонного стока рек Челябинской области и ее влияние на хозяйственную деятельность // Успехи современного естествознания. – М.: Академия естествознания, 2007. – № 2. – С. 65–68.
  43. Бубин М.Н. Влияние ритмичности колебаний сезонного стока рек на экологическое равновесие в промышленно развитых регионах (на примере Челябинской области) // Экология и промышленность России. – 2007. – № 10. – С. 45–47.
  44. Быков В.Д. Сток рек Урала. – М.: МГУ, 1963. – 143 с.
  45. Быков В.Д. Изменчивость внутригодового распределения стока рек восточного Закавказья // Вестник МГУ. – Серия географическая. – 1968. – № 2. – С. 43–51.
  46. Быков В.Д., Важнов А.Н., Федорова И.С. Исследование внутригодовой неравномерности стока Алтая и Саян // Вестник МГУ. – Серия географическая. – 1972. – № 5. – С. 23–30.
  47. Быков В.Д. Проблемы гидрологии: Географические особенности внутригодового распределения стока рек Урала. – М.: Наука, 1978. – С. 159–166.
  48. Быков В.Д., В.Н. Бусаров. Обусловленность внутригодового распределения стока колебаниями водности года // Водные ресурсы. – 1974. – № 2. – С. 191–194.
  49. Важнов А.Н. Параметры внутригодового распределения стока основных типов горных рек // Водные ресурсы. – 1976. – № 3. – С. 73–76.
  50. Вангенгейм Г.Я. О колебаниях атмосферной циркуляции над северным полушарием // Известия АН СССР. – Серия географическая и геофизическая. – 1946. – № 5. – С. 405–416.
  51. Вангенгейм Г.Я. О зональных индексах атмосферной циркуляции // Проблемы Арктики. – Л., 1959. – Вып. 7.
  52. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды Аркт. НИИ. – Л. – М.: Главсевморпуть, 1952. – Т. 34.
  53. Ведерникова О.Л., Ишукова Т.Л., Постнова Н.В. Условия выпадения значительных дождей на территории Челябинской области // Сборник гидрометеорологического центра. – Л.: Гидрометеопиздат, 1985. – Вып. 1. (14) – С. 15–20.
  54. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – С. 467–471.
  55. Веретенникова Г.М., Леонов Е.А. Оценка современного изменения внутригодового изменения стока крупных рек под влиянием

- водохранилищ // Сборник работ по гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – № 17. – С. 3–20.
56. Винников К.Я. Тренды и оценка их статистической значимости/ Чувствительность климата. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – С. 39–41.
57. Владимиров Л.А. Вертикальная протяженность бассейна и ее влияние на внутригодовое распределение стока // Сообщения АН Грузинской ССР. – 1958. – № 6.
58. Владимиров Л.А. Питание рек и внутригодовое распределение речного стока на территории Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1964. – 244 с.
59. Владимиров А.М. Особенности формирования и расчет минимального стока малых рек СССР // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – Вып. 133. – С. 148–174.
60. Владимиров Л.А. О зависимости внутригодового распределения стока от водности года // Метеорология и гидрология. – 1968. – № 3. – С. 91–92.
61. Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 200 с.
62. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 370 с.
63. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 365 с.
64. Водные ресурсы и водное хозяйство Урала / под ред. А.М. Черняева. – Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1977. – 260 с.
65. Водогрецкий В.Е., Копылов А.П., Рождественский А.С. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 448 с.
66. Воейков А.И. Реки России // Известия общества любителей естествознания, антропологии и этнографии при Московском университете. – М.: 1884а. – Т. 41. – Вып. 2.
67. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России. – СПб.: 1884 б.
68. Воробьева Е.В., Сазонов Б.И. Критерии и характеристики засушливых явлений на территории СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 152 с.
69. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеоздат, 1962. – 545 с.
70. Гареев А.М. Географо-экологические основы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки. Учебное пособие по спецкурсу. – Челябинск: ЧГПИ, 1989. – С. 27–47.
71. Гальперин Р.П. Колебания стока и осадков на востоке Казахстана и их связь: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Алма-Ата, 1970. – 23 с.

72. Германишвили В.Ш., А.В. Стоценко Гидрологический очерк бассейнов рек Зеи и Буреи // Труды ДВНИГМИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – Вып. 4. – С. 5–93.
73. Гейнс Е.А. Водность бассейна верхней Оки в связи с осадками. – СПб., 1903. – 43 с.
74. Глазачева Л.И. Цикличность природных процессов и колебания водности рек и озер: Учеб. пособие для студ. геогр. фак. ун-та. – Рига: Латв. гос. ун-т им. Стучки, 1977. – 28 с.
75. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Уч. пособие для вузов. Изд-е 5-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – С. 461–463.
76. Гопченко Е.Д., Сербов Н.Г. Исследование синхронности колебаний стока половодья приемами факторного анализа и теории распознавания образов (на примере Западно-Сибирской равнины) // Тр. Зап. Сиб. РНИИГМИ. – М.: Гидрометеиздат. Моск. отд-ние, 1988. – Вып. 87. – С. 3–9.
77. Гренждер К., Хатанака М. Спектральный анализ временных рядов в экономике / Пер. с англ. В.С. Дуженко, Е.Г. Угер. – М.: Статистика, 1972. – 312 с.
78. Григорьева А.С. Потоки влаги при типах циркуляции Г.Я. Вангенгейма // Вопросы общей и синоптической климатологии: труды ГГО. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – Вып. III.
79. Гуляева Н.В. Пространственно-временная изменчивость увлажнения ландшафтов Южного Урала и прилегающих равнин: автореф. дисс.... канд. геогр. наук. – Л., 1989. – 16 с.
80. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. – М., 1993. – 503 с.
81. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Проблемы использования методов автоматической классификации в географии // Вестник МГУ. – Сер. геогр. – № 1. – 1989 – С. 80–86.
82. Гущина Д.Ю., Петросянец М.А. О связи температуры поверхности экваториальной части Тихого океана с циркуляцией скорости ветра в центрах действия атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 12. – С. 5–22.
83. Давыдов Л.К. Водность рек СССР, ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. – Л.: Гидрометеиздат, 1947. – 36 с.
84. Давыдова А.И., Калинин Г.П. Пространственно-временной анализ цикличности стока рек // Вестник МГУ. – Сер. геогр. – № 4. – 1967. – С. 11–16.
85. Двинских Н.И., Федоров В.Н. К анализу гидрометеорологических полей на основе разложения по ЕОС // Круговорот вещества и

- энергии в водоемах: тезисы докл. 4 Всесоюз. лимнол. совещ. пос. Листвиничное (Иркутск. обл.): Лимнол. ин-т, 1977. – С. 189–192.
86. Девяткова Т.П. Внутригодовое распределение стока рек бассейна Воткинского водохранилища // Краткий справочник для гидрологических расчетов на реках Западного Урала. – Пермь, 1966.
87. Девяткова Т.П. Внутригодовое распределение стока рек бассейна верхней Камы // Ученые записки Пермского университета. – 1968. – Вып. 3. – № 198. – С. 12–19.
88. Девяткова Т.П. Особенности распределения сезонного стока рек Предуралья в годы аномального развития атмосферной циркуляции // Ученые записки Пермского университета. – 1969. – Вып. 4. – № 213. – С. 13–18.
89. Девяткова Т.П. Влияние атмосферной циркуляции на водность и межсезонное распределение стока рек Предуралья: автореф. дис. ... кандидата геогр. наук. – Пермь, 1969а. – 15 с.
90. Девяткова Т.П. О влиянии атмосферных осадков на сезонный сток рек Предуралья и его связь с макроциркуляционными процессами // Ученые записки Пермского университета. – 1970. – Вып. 5. – № 246. – С. 33–39.
91. Денисов П.П. Методика оценки тенденций в ходе речного стока // Метеорология и гидрология. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – № 4. – С. 101–104.
92. Дорофеюк А.А. Лумельский В.Я. Оценка полученных классификаций. Выбор критерия классификации. // Алгоритмы обучения распознавания образов. – М.: Советское радио, 1973. – 196 с.
93. Дроздов О.А. О возможности климатических прогнозов на основании цикличности, обусловленной космическими и земными факторами // Труды ГГО. – Л., 1971. – Вып. 274. – С. 3–26.
94. Дроздов О.А. Циклическая структура временного поля осадков и использование ее для прогноза. – Обнинск: Информцентр, 1974. – 41 с.
95. Дроздов О.А. Колебания естественного увлажнения в связи с анализом антропогенных изменений климата и увлажнения // Водные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 5–16.
96. Дружинин И.П., Коноваленко З.П., Кукушкина В.П., Хамьянова Н.В. Вековая цикличность стока рек и других геофизических процессов // Речной сток и геофизические процессы. – М.: Наука, 1966. – Гл. 5. – С. 174–197.
97. Дружинин И.П., Коноваленко З.П., Хамьянова Н.В. Вековые и внутривековые колебания стока рек азиатской части СССР // Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. – М.: МГУ, 1967. – С. 60–66.

98. Дружинин И.П. Исследования закономерностей многолетних колебаний речного стока: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – М.: МГУ, 1969. – 17 с.
99. Дружинин И.П. Переломы многолетнего хода природных процессов на Земле и резкие изменения солнечной активности // Ритмы и цикличность в природе. – М.: Мысль, 1970. – С. 15–51.
100. Дружинин И.П., Хамьянова Н.В., Лобановская Ю.А. Прогноз гидрометеорологических элементов // Долгосрочные прогнозы природных явлений. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977. – С. 151.
101. Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1987. – 252 с.
102. Дружинин И.П., Смага В.Р., Шевнин А.Н. Динамика многолетних колебаний речного стока. – М.: Наука, 1991. – 175 с.
103. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. – М.: Гос. изд-во техникотехн. лит-ры., 1955. – 556 с.
104. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты – М.: Издательство МГУ, 1990. – 428 с.
105. Евстигнеев В.М., Клиге Р.К., Фомченков А.К. Изменения и корреляционный анализ континентального стока мира // Водные ресурсы. – 1978. – № 6. – С. 20–32.
106. Евстигнеев В.М., Жук В.А. Пространственно-временной анализ в региональных обобщениях речного стока // Методы расчета речного стока. – М.: МГУ, 1980. – С. 76–89.
107. Евстигнеев В.М., Жук В.А., Чуткина Г.П. Методы исследования синхронности колебаний стока рек // Исследования и расчеты речного стока. – М.: МГУ, 1982. – С. 6–31.
108. Жаков С.И. Происхождение осадков в теплое время года. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 251 с.
109. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 231 с.
110. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984. – С. 144–158.
111. Жук В.А., Евстигнеев В.М. Исследование синхронности колебаний годового стока отдельных региона приемами факторного анализа // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. – М., 1976. – Вып. 22. – С. 78–86.
112. Жук В.А., Романова Е.А. Об одном методе автоматической классификации гидрометеорологических величин // Вестник МГУ. – Сер. геогр. – Том 5. – 1981. – С. 33–38.
113. Жук В.А., Скорняков В.А., Ретеном К.Р. и др. Расчеты речного стока (методы пространств. обобщения) / под ред. Быкова В.Д. и др. – М.: МГУ, 1984. – 165 с.

114. Зайков Б.Д. Гидрологические очерки бассейна оз. Севан // Материалы исследованию оз. Севан и его бассейна. – Л., 1933. – Ч. I. – Вып. 3.
115. Зайков Б.Д. Внутригодовое распределение стока на территории Европы // Труды НИУГМС. – Свердловск – М. – Серия IV, 1944. – Вып. 15.
116. Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР // Труды НИУГМС. – Л. – М. – Серия IV, 1946. – Вып. 38. – С. 3–173.
117. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – С. 3–6.
118. Зайков Б.Д. Очерки гидрологических исследований в России. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – С. 120–138.
119. Земцов В.А. О многолетней изменчивости речного стока в Западной Сибири // Вестник Томск. гос. ун-та. – 2003. – № 3 (IV), Приложение. – С. 137–139.
120. Земцов В.А. Ресурсы поверхностного стока в бассейне Оби: основные закономерности и проблемы управления: автореферат дис.... доктора географических наук / Ин-т вод. и экол. проблем СО РАН (ИВЭП) – Барнаул, 2004. – 43 с.
121. Иванов Н.Н. Атмосферное увлажнение тропических и сопредельных стран земного шара. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 101–105.
122. Иванов Е.Г. Расчет внутригодового стока рек при наличии данных наблюдений // Водные ресурсы. – 1980. – № 6 – С. 64–70.
123. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 337 с.
124. Калишев В.Б. История гидрометеорологической службы Челябинской области // Край родной. – Челябинск, 1974. – Вып. 9. – С. 77–83.
125. Картвелишвили Н.А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 291 с.
126. Картвелишвили Н.А. Влагооборот и регулирование стока: Трансформация естественного речного стока водохранилищами. – М., 1973. – С. 12–27.
127. Кеммерих А.О. Гидрография Северного, Полярного и Приполярного Урала. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 99–118.
128. Клемеш В. Длинный ряд гидрологических наблюдений – урок нашей уверенности в себе // Труды гидрологического съезда. – СПб, 1995. – С. 52.
129. Ковзель А.Г. Связь многолетних колебаний стока рек с типами атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. – 1960. – № 11. – С. 20–25.

130. Колпачева М.П. Внутригодовое распределение стока рек Среднерусской возвышенности в пределах ЦЧО // Сборник работ Курской гидрометеорологической обсерватории, 1968. – Вып. 4.
131. Комаров В.Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек. – М.: Гидрометеиздат, 1955. – 300 с.
132. Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР. Условия его формирования и методы прогнозов. – М.: Гидрометеиздат, 1959. – 290 с.
133. Комлев А.М. О сезонной и многолетней зарегулированности стока горных рек Алтая (на примере бассейна Катуня) // Водные ресурсы западной Сибири. – Новосибирск, 1964.
134. Комлев А.М. Исследование и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири) // Труды Западно-Сибирского гидрометеорологического института. – Новосибирск, 1973. – Вып. 9. – С. 199.
135. Комлев А.М., Лаптева А.К. Норма и многолетняя изменчивость годового стока рек Пермской области // Закономерности формирования, методы расчета водных и климатических ресурсов. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1981. – С. 11–15.
136. Комлев А.М. Закономерности формирования речного стока. – Пермь: ПГУ, 1992. – 118 с.
137. Комлев А.М. К анализу многолетних колебаний природных процессов // Вопросы охраны атмосферы. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1994. – С. 43–49.
138. Комлев А.М. Методы расчётов речного стока: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1997. – 83 с.
139. Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока. – Пермь: ПГУ, 2002. – 161 с.
140. Комлев А.М. Исследования речного стока – Пермь: Пермский университет, 2006. – 307 с.
141. Кондратьев К.Л., Логинов В.П. Причины и следствия климатических изменений. – Минск, 1992.
142. Кондрацова О.Ф. Квазидвухлетний цикл в колебаниях стока рек СССР: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – М., 1974. – 13 с.
143. Коноваленко З.П. Внутривековая цикличность годового стока рек СССР: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – М.: МГУ, 1966. – 24 с.
144. Коровин В.И. Влияние гидрометеорологических условий на сток рек и уровень озер // Тр. ГГИ, 1966. Вып. 126. – С. 153–166.
145. Коротина Е.Ф. Многолетние колебания температурного режима Южного Урала. автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Пермь, 2002. – 23 с.

146. Кочерин Д.И. Средний многолетний, годовой и месячный сток в Европейской части Союза // Труды Московского института инженерного транспорта. – 1927. – Вып. VI.
147. Кочукова Т.Н. Районы с синхронными колебаниями годового стока // Тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – Вып. 50 (104). – С. 101–114.
148. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математика для экономистов. – СПб.: Питер, 2004. – С. 209–230.
149. Крассовская Т.М. Асинхронность годового стока рек УССР и ее учет при определении водных ресурсов республики // Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. – М.: МГУ, 1967. – С. 71–72.
150. Кренке А.Н., Китаев Л.М. Влияние Эль-Ниньо на снежный покров Евразии // Известия АН. Сер. геогр. – № 1. – 1999. – С. 49–54.
151. Крестовский О.И., Соколова Н.В. Весенний сток и водный баланс поля и леса в лесной зоне ЕТС // Водные ресурсы. – 1979. – № 2. – С. 40–49.
152. Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
153. Кригель А.М. О подобии между медленными колебаниями в атмосфере планет и циклом солнечной активности // Вестник ЛГУ. – Сер. геол. и геогр. – № 3 (21). – 1988. – С. 122 .
154. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф., Калинин Г.П., Быков В.Д. Об исследовании многолетних колебаний годового стока // Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. – М.: МГУ, 1967. – С. 9–24.
155. Кузин П.С. Многолетние колебания водности рек СССР // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – Вып. 38 (92). – С. 188–215.
156. Кузин П.С. Объемы весеннего половодья на равнинных реках СССР // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – Вып. 50 (104). – С. 3–55.
157. Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – С. 249–288.
158. Кузин П.С. О методике и практических приемах гидрологического районирования // Тр. ГГИ, 1965. – Вып. 126. – С. 153–166.
159. Кузин П.С. Циклические колебания стока рек Северного полушария. Асинфазность рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Гл. 5. – С. 84–103.
160. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
161. Куприянова Т.П. Принципы и методы физико-географического районирования с применением ЭВМ. – М.: Наука, 1977. – 126 с.

162. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Исследование тенденции изменения водности рек при оценке нормы стока // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 4. – С. 75–84.
163. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Метод определения параметров трендов гидрологических рядов // Сб. работ по гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – № 19. – С. 93.
164. Леонов Е.А. Сверхдолгосрочные прогнозы водоносности рек – проблема глобальной гидрологии // Изв. ВГО. 1990. – Т. 122. – Вып. 3. – С. 233–239.
165. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Исследование тенденций изменения водности рек Сибири и Северного Казахстана // Тр. ГГИ. – 1990. – Вып. 344. – С. 128–136.
166. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Циклические колебания годового стока и их прогноз// Сб. работ по гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. № 2. – С. 46–63.
167. Лепихин А.П. Особенности геофизического подхода к построению пространственных и временных моделей стока: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Пермь, 1981. – 15 с.
168. Лобанова Н.И., Пономарева Т.Г. Влияние хозяйственной деятельности на внутригодовое распределение стока воды в устьевой области р. Амура // Труды Дальневосточного регионального научно-исследовательского института. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – Вып. 126. – С. 73–83.
169. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: Наука и техника, 1992.
170. Логинов В.Ф. Климатические исследования в институте // Природопользование. Вып. 22. – 2012. – С. 123–140.
171. Львович М.И. Опыт классификации рек СССР // Труды ГГИ. – М.: Гидрометеоиздат, 1938. – Вып. 6. – С. 58–104.
172. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. // Океан и космос. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – С. 103–135.
173. Максимов Е.В. Проблемы оледенения земли и ритмы в природе. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1972. – 296 с.
174. Максимов Е.В. Ритмичность природных явлений и е смысл // Изв. ВГО, 1977. – Т. 109. – Вып. 5. – С. 418–426.
175. Максимов Е.В. Пассионарные толчки Л.Н. Гумилева и 1850-летний ритм Шнитникова // Географическая наука и образование. Спб., 1995а. – С. 3–5.
176. Максимов Е.В. Ритмы на Земле и в космосе. – СПб, 1995б. – 324 с.
177. Максимов Е.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. – М–Л., 1995 в. – 337 с.

178. Математическая энциклопедия / ред. коллегия: Виноградов И.М. и др. – М.: Советская энциклопедия, 1977. Т. 1. – С. 866–867.
179. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик / под ред. Шмидта Т.С. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 247 с.
180. Мезенцева О.В. Географические закономерности зоны оптимальных гидролого-климатических условий для аграрного природопользования (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – Томск, 2010. – 44 с.
181. Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик / Под ред. И.А. Шикломанова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 77 с.
182. Мещерская А.В., Блажевич В.Г., Голод М.П., Белянкина И.Г. Мониторинг засушливости на территории основных зернопроизводящих районов СНГ за последнее столетие. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
183. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. – М.: Высшая школа, 1991. – 370 с.
184. Мокляк В.И. Формирование максимальных расходов от талых вод и их расчеты. – Киев, 1965.
185. Муравейская М.В. Распределение аномалий осадков на Среднем и Южном Урале в зависимости от форм атмосферной циркуляции // Ученые записки Пермского университета. – 1974. – Вып. 7. – № 330. – С. 213–219.
186. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 286.
187. Нестеренко Ю.М., Глянцев А.В. Водоносные комплексы Бузлукской впадины и их взаимодействие // Нефтепромысловое дело. – № 12. – 2007. – С. 30–33.
188. Никитин С.П., Земцов В.А. Изменчивость полей гидрологических характеристик в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1986. – 206 с.
189. Норватов А.М. Минимальный сток малых рек Европейской территории СССР // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – Вып. 52 (106). – С. 42–106.
190. Носаль А.П. К вопросу об изменении условий формирования стока под влиянием хозяйственной деятельности // Регион и география. – Пермь, 1995. – С. 47–48.
191. Ольдекоп Э.М. Зависимость режима р. Чирчика от метеорологических факторов. – Ташкент, 1918.

192. Олдендерфер М.С., Блэншфилд Р.К. Методы проверки обоснованности решений // Факторный и дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 192–202
193. Оппоков Е.В. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра выше г. Киева и его составных частях в период 1876–1908 гг. – СПб.: Изд-во отделения Земельных улучшений, 1914.
194. Оппоков Е.В. Колебания водности рек в историческое время // Исследования рек СССР. – Л.: ГГИ, 1932. – Вып. 4.
195. Оппоков Е.В. К вопросу о многолетних колебаниях стока на больших речных бассейнах в связи с колебаниями метеорологических элементов // Журнал Министерства путей сообщения. – 1906. – Кн. 7–8.
196. Оппоков Е.В. Многолетние колебания речного стока и атмосферных осадков в бассейнах рек // Водное дело. – 1908. – № 10. – № 11.
197. Оппоков Е.В. О водности рек в связи с атмосферными осадками и другими факторами // Записки Русского географического общества по общей географии. – 1909. – Т. 47.
198. Орлова К.Е. Об изменении характера связи годового стока с осадками в бассейне р. Тобол при смене эпох атмосферной циркуляции // Ученые записки Пермского университета. – 1966. – Вып. 1. – № 146. – С. 61–68.
199. Орлова К.Е. Влияние атмосферной циркуляции на формирование годового стока в лесной, лесостепной и степной зонах Зауралья: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Пермь, 1968. – 22 с.
200. Островская Н.К. Исследование внутригодового распределения атмосферных осадков на территории Урала применительно к водохозяйственным расчетам: автореф. дис. ... кандидата геогр. наук. – Пермь, 1968. – 26 с.
201. Островский Г.М. О густоте речной сети Урала и Приуралья // Сборник работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. – Свердловск, 1965. – Вып. 4. – С. 18–24.
202. Петров А.П. Новые данные о связи природной ритмики и этносоциальных процессов // Известия ВГО. – № 2. – 2000. – С. 85–87.
203. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 5. – С. 5–24.
204. Познай свой край. Челябинская область: краткий справочник / авт. составитель Гитис М.С., Моисеев А.П. – Челябинск: АБРИС, 2004. – С. 38–40.

205. Покровская Т.В. Солнечно-тропосферные связи. – Обнинск, Информцентр, 1974. – 56 с.
206. Предтеченский П.П. Цикличность колебания солнечной деятельности // Тр. ГГО. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – Т. 8 (70). – С. 3–15.
207. Природа многолетних колебаний речного стока / под ред. И.П. Дружинина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. – 396 с.
208. Природа Челябинской области. – Челябинск: ЧГПУ, 2001. – С. 4–130.
209. Пространственно-временные колебания стока рек СССР / под ред. И.П. Дружинина. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
210. Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 228 с.
211. Райзин Д.В. Классификация и кластер / пер. с англ. Кольцова А.П. – М.: Мир, 1980. – 189 с.
212. Рассказова Н.С., Андреевой М.А. Многолетние колебания речного стока на Южном Урале // Многолетние колебания гидрометеорологического режима Южного Урала. – Челябинск: Изд-во ЧГПИ, 1986. – С. 3–25.
213. Рассказова Н.С. Многолетние колебания стока рек бассейна р. Тобол (классификация рек, районирование территории по характеру многолетних колебаний стока): автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Пермь, 1992. – 232 с.
214. Рассказова Н.С. Брикнеровский цикл в многолетних колебаниях стока рек Зауралья // Гидрология на рубеже веков. – Пермь: ПГУ, 1999. – С. 20–22.
215. Рассказова Н.С. Природа. Пакет прикладных программ: инструкция пользователя / Н.С. Рассказова. – Челябинск: ЮурГУ, 2000. – 25 с.
216. Рассказова Н.С. ИС-технология водный кадастр «Природа». Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ. № 2000610197 от 21.03.2000 г. Российское агентство по патентам и товарным знакам. – М.: Роспатент, 2000а.
217. Рассказова Н.С. База данных мониторинга природных объектов и процессов. Свидетельство об официальной регистрации баз данных для ЭВМ. № 20011620136 от 25.11.2001 г. Российское агентство по патентам и товарным знакам. – М.: Роспатент, 2001.
218. Рассказова Н.С. Влияние феномена Эль-Ниньо на гидрометеорологические условия Урала // Материалы Международной научно-практической конференции «География и регион» (30 сентября – 4 октября 2002 г.) – Т. 4. – 2002. – С. 19–23.
219. Рассказова Н.С. Новая версия кластерного анализа пространственной структуры гидрометеорологических полей // География и природные ресурсы. – № 2. – Иркутск, 2002. – С. 14–18

220. Рассказова Н.С. Связь глобального отклика событий Эль-Ниньо – Южное колебание с гидрометеорологическими условиями Уральского региона // Известия академии наук. – М.: Изд-во РАН. – 2002. – С. 15–18.
221. Рассказова Н.С. Многолетние колебания стока рек и их связь с космо- и геофизическими факторами (на примере бассейнов рек Камы и Тобола). – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2003. – 270 с.
222. Рассказова Н.С. Создание базы данных гидротехнических сооружений Челябинской области для ГИС // Сборник трудов научно-практического семинара «Геоинформационные технологии: актуальные проблемы и стратегии развития. – Челябинск, 2012. – С. 121–133.
223. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока: закономерности и регулирование. Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
224. Раткович Д.Я., Иванова Л.Я. Вероятностные закономерности внутригодовых колебаний речного стока // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 2. – С. 141–154.
225. Резниковский А.Ш. Современные требования к гидрологической информации и методы оценки колебаний цикличности и асинхронности речного стока // Методы расета речного стока. – М.: МГУ, 1980. – С. 59–75.
226. Рекомендации по расчетам внутригодового распределения стока при строительном проектировании. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 3–42.
227. Ресурсы поверхностных вод СССР: Средний Урал и Приуралье / под ред. Алюшинской Н.М. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Т. 11. – С. 196–241.
228. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Средний Урал и Приуралье (Тобол) / под ред. Н.М. Алюшинской. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – Вып. 2. – 288 с.
229. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. – М.: Недра, 1968. – 158 с.
230. Рождественский А.В. Анализ многолетних колебаний речного стока и методов их математического описания // Сб. работ по гидрологии. – Л.: ГГИ, 1988. – № 10. – С. 22–73.
231. Рождественский А.В., Лобанов В.А., Лобанова А.Г. Пространственно-временные колебания стока рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 375 с.
232. Рождественский А.В., Ежов А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 202–228.

233. Рубинштейн Е.С. Современное изменение климата. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 268 с.
234. Румянцев В.А., Бовыкин И.В. Пространственно-временные закономерности колебаний стока рек Евразии. – Л.: Наука, 1985. – 148 с.
235. Румянцев В.А., Трапезников Ю.А., Хорбаладзе М.А. Межгодовая изменчивость уровней воды озер // Известия АН. – Серия географическая. – 2000. – № 1. – С. 64–68.
236. Румянцева А.Я. К вопросу о климатическом районировании Челябинской области // Вопросы географии Южного Урала. – Челябинск: ЧГПИ, 1969. – Вып. 3. – С. 61–77.
237. Румянцева А.Я. Климат Челябинской области. – Челябинск: ЧГПИ, 1988. – С. 4–83.
238. Рыжиков А.И. О проблемах кадастра и мониторинга земель // Геодезия и картография. – № 8. – М.: ГУГК, 1996. – С. 50–53.
239. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, охрана и использование. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
240. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. – Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. – 248 с.
241. Сазонов Б.И., Логинов В.Ф. Солнечно-тропосферные связи. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 115 с.
242. Самнер Г. Математика для географов / пер. с англ. Зейдеса И.М. – М.: Прогресс, 1981. – С. 219–224.
243. Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Многолетние колебания стока р. Волги / под ред. Максимова И.В. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 166 с.
244. Сванидзе Г.Г. Процесс речного стока и его анализ / Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – Гл. 1. – С. 16–42.
245. Сергин В.Я. Исследование динамики колебаний климата и оледенения на протяжении четвертичного периода // Известия АН СССР. – Серия географическая. – 1969. – № 6. – С. 88–98.
246. Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. – М.: МГУ, 1990. – 159 с.
247. Серебрянников С.Г., Первозванский А.А. Выделение скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. – С. 9–93.
248. Сидорова Л.В. Некоторые характеристики режима внутригодового стока рек южных склонов Центрального Кавказа // Труды Закавказского НИГМИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1964. – Вып. 15 (21). – С. 144–149.
249. Сидорова Л.В. Внутригодовое распределение стока рек восточной Грузии // Труды Закавказского НИГМИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – Вып. 22. – С. 158–171.

250. Силаева Л.Ф. Районирование Урала по показателю внутригодовой неравномерности стока // Вестник МГУ. – Серия географическая. – 1974. – № 5. – С. 97–99.
251. Синюкович В.Н. Характер и природа синхронных колебаний стока рек юга Сибири // Вестник МГУ. – Серия географическая, 1999.
252. Складенко В.Л., Смирнов Н.П. Об использовании методов главных компонентов для задач классификации и районирования // Инф. бюлл. ин-та биологии внутр. вод. – Л.: Наука, Ленингр. отделение, 1973. – С. 60–64.
253. Складенко В.Л., Смирнов Н.П. О применении многомерного анализа в гидрологии // Тр. ин-та биологии внутр. вод. – Л.: Наука, 1974. – Вып. 26 (29). – С. 180–204.
254. Слуцкий Е.Е. Избранные труды. Теория вероятностей. Математическая статистика / Сложение случайных причин как источник циклических процессов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 99–122.
255. Смирнов Н.В. О причинах многолетних колебаний стока рек // Известия ВГО, 1969. – Т. 101. – Вып. 5. – С. 403–410.
256. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). – М.: статистика, 1969. – 511 с.
257. Смирнов Н.В. Пространственные закономерности многолетних колебаний стока рек ЕТС // Водные ресурсы. – 1973. – № 2. – С. 21–32.
258. Смирнов Н.В. Пространственно-временные закономерности многолетних колебаний стока рек СССР как отражение космогеофизических факторов фона макропроцессов в атмосфере океана и земли: автореф. дисс. ... докт. геогр. наук / Борок, ин-т биологии внутр. вод. – М., 1974. – 31 с.
259. Смирнов Н.В. Пространственные закономерности многолетних колебаний стока рек СССР // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – Т. 3. – С. 299–307.
260. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). – М.: Статистика, 1969. – 511 с.
261. Смирнов Н.В., Складенко В.Л. Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. – Л.: ЛГУ, 1986. – 190 с.
262. Соболева Е.Б. Основные параметры сезонного стока рек Камского бассейна // Гидрология и метеорология. Анализ и прогноз элементов водных и климатических ресурсов Урала, сопредельных территорий: межвузовский сборник научных трудов. – Пермский ун-т, 1981. – С. 57–64.

263. Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах / под ред. Касимова Н.С., Клиге Р.К. – М.: Научный мир. – 1472 с.
264. Соколов Н.Н. Водность р. Волги по данным Ярославской и Вязовской гидрометеорологических станций. – Казань, 1922.
265. Соколов А.Г., Попова М.А. К оценке современных и возможных в перспективе антропогенных изменений внутригодового распределения стока нижней Волги // Сборник работ по гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – № 15. – С. 3–17.
266. Соколовский Д.Л. Речной сток – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 539 с.
267. Сонечкин Д.М. Об объективной классификации метеорологических явлений и ситуаций с помощью ЭВМ // Метеорология и гидрология, 1968. – Т. 5. – С. 13–14.
268. Сомов Н.В. Асинхронность и цикличность колебаний стока крупных рек СССР: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Москва, 1963. – 21 с.
269. Сомов Н.В. Асинхронность и цикличность колебаний стока крупных рек СССР // Труды Центрального института прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – Т. 117. – 21 с.
270. СП 33–101–2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
271. Статистические исследования максимального стока р. Днепр / под ред. Рождественского А.В., Георгиевского В.Ю. Отчет по договору 5/1 – 99. СПб.: ГГИ, 2000. – С. 28–32.
272. Статистика. Учеб. пособие / под. ред. проф. М.Р. Ефимовой. – М.: ИНФРА-М, 2005. – С. 135–160.
273. Стеженская И.Н. Сезонный сток рек Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 12–49.
274. Степанов Ю.Г. Естественные составляющие стока рек бассейна Ангары // Проблемы прогностических исследований природных явлений. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1979. – С. 61–66.
275. Степанова В.В. Районирование внутригодового распределения стока рек Прибайкалья: Гидрофизика и гидрология водоемов // Сборник научных трудов. – Новосибирск.: Наука, 1991. – С. 122–129.
276. Стиметс р. Поиск закономерности в изменении интенсивности дождевых осадков // В мире науки. – М., 1985. – № 3. – С. 73–78.
277. Строгина К.Ф., Уласевич А.Д. Синоптические условия формирования продолжительных осадков на Урале // Сборник работ по региональной синоптике. – М., 1962. – № 7. – С. 26–37.
278. Стряпчий В.А. Внутригодовое распределение стока рек бассейна Среднего Амура и некоторые вопросы его классификации. – М.: Наука, 1979. – С. 3–99.

279. Субботин А.И. Сток талых и дождевых вод. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 311 с.
280. Субботин А.И. Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в нечерномоземной зоне Европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 98 с.
281. Сысоев А.Д. Очерки физической географии Челябинской области / А.Д. Сысоев. – Челябинск: Челябинское книжное издательство, 1959. – С. 92–110.
282. Трофимов А.Н., Заботин Я.И., Понасюк Н.З., Рубцов В.А. Количественные методы районирования. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1985. – С. 14–107.
283. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 2012. – 44 с.
284. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик СН 435-72. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 19 с.
285. Федотов С.А. Влияние хозяйственной деятельности на водный режим рек Пермской области: автореф. дисс.... канд. геогр. наук. – Пермь, 2000. – 23 с.
286. Фомченков А.К. Пространственно-временная изменчивость стока рек Европы // Водные ресурсы, 1987. – № 6. – С. 52–64.
287. Хамьянова Н.В. Асинхронность стока крупных рек Средней Азии // Тр. ЦИП. – М., 1963. – Т. 117.
288. Хитрякова Н.П. Агроклиматическое районирование Челябинской области // Гидрометеорологический режим Южного Урала. – Челябинск: ЧГПИ, 1983. – С. 75–81.
289. Христофоров А.В. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 131 с.
290. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993.
291. Худсон Д. Статистика для физиков / пер. с англ. Грушиной В.Ф. – М.: Мир, 1980. – 96 с.
292. Хунджуа Г.Г. Интернет-журнал «Ломоносов». Популярныe статьи. Наука «География». Метеорология, климатология, агрометеорология. // [www.nature.ru](http://www.nature.ru)
293. Чеботарев Н.П. Учение о стоке. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – С. 339–357.
294. Чеботарев А.И. Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. – Л.: ГГИ, 1973.
295. Чеботарев А.И. Общая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.
296. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1978.

297. Черных Е.А. Гидроморфометрический метод и гидрографическая классификация рек // Учен. зап. Пермского ун-та. – 1971. – Сб. 4. – № 282. – С. 3–11.
298. Черняев А.М., Шахов И.С., Аксенов В.И. Многолетние колебания годового стока рек Урала // Водные ресурсы и водное хозяйство Урала. – Свердловск: Сред.-уральск. кн. изд-во, 1977. – С. 17–18.
299. Чикишев А.Г. Вопросы физической географии Урала: Реки и озера Среднего Урала. – М., 1960. – С. 61–90.
300. Чуткина Л.П., Евстигнеев В.М., Жук В.А. Исследования пространственных закономерностей колебаний годового стока // Проблемы гидрологии. – М.: Наука, 1976. – С. 115–125.
301. Шахов И.С., Шкляев А.С. Влияние физико-географических факторов на максимальный сток паводков рек Урала // Сборник работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. – Свердловск, 1969. – Вып. 9. – С. 3–29.
302. Шахов И.С. Водные ресурсы: мнимые ирреальные // Регион и география: тезисы докладов международной научно-практической конференции, 1995. – С. 3–5.
303. Швец Г.И. Хронологический ход изменчивости годового стока Днепра и солнечной активности / Многовековая изменчивость Днепра. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – С. 30–32.
304. Шелковская Н.П. Районирование карста западной части Челябинской области (В пределах Предуралья, западного склона и высокогорного Урала) // Вопросы географии Южного Урала. – Челябинск, 1969. – Вып. 3. – С. 54–60.
305. Шелковская Н.П. К вопросу изучения и поисков подземных вод на закарстованных территориях юго-восточной части Челябинской области // Гидрометеорологический режим Южного Урала. – Челябинск: ЧГПИ, 1983. – С. 16–27.
306. Шелутко В.А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 159 с.
307. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 302 с.
308. Шикломанов И.А., Доброумов. Влияние хозяйственной деятельности на водный режим и водные ресурсы. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 100 с.
309. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России // Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, 2003. – М.: ИГКЭ. – С. 250.

310. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Тезисы докладов Всемирной VI Всероссийского гидрологического съезда, 2004. – Спб: Гидрометеиздат. – С. 200–201.
311. Шкляев А.С. Влияние атмосферной циркуляции на распределение и многолетнее колебание осадков и стока (на примере Урала): автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. – Москва, 1964а. – 28 с.
312. Шкляев А.С. Особенности распределения осадков и стока на Среднем и Южном Урале и их связь с атмосферной циркуляцией // Учен. зап. Пермского ун-та. – 1964. – № 112. – С. 3–108.
313. Шкляев А.С. Опыт районирования территории Среднего и Южного Урала по преобладающему влиянию форм атмосферной циркуляции на сток // Сб. Свердловской ГМО. – 1965. – № 4. – С. 40–53.
314. Шкляев А.С., Быкова Л.А. К вопросу о влиянии Уральских гор на распределение атмосферных осадков // Доклады Пермского отделения географического общества СССР. – Пермь, 1960. – Т. 1. – Вып. II – IV.
315. Шкляев А.С., Девяткова Т.П. Многолетние колебания сезонного стока рек Предуралья // Ученые записки Пермского университета. – 1969. – Вып. 4. – № 213. – С. 13–36.
316. Шкляев А.С., Калинин Г.П. О влиянии атмосферной циркуляции на распределение стока рек Среднего и Южного Урала // Учен. зап. Пермского ун-та. – 1966. – Сб. 1. – № 146. – С. 55–61.
317. Шкляев А.С. Многолетние колебания годового стока рек Среднего и Южного Урала и их связь с атмосферной циркуляцией // Сб. Свердловской ГМО. – 1967. – Вып. 6. – С. 81–97.
318. Шкляев А.С. Связь изменений годового стока рек Урала в смежные годы с типами атмосферной циркуляции // Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. – М.: МГУ, 1967. – С. 189–197.
319. Шкляев А.С., Орлова К.Е. О влиянии средней высоты водосборов на сток рек бассейна Тобола // Учен. зап. Пермского ун-та. – 1967. – № 169. – С. 79–84.
320. Шнитников А.В. Внутригодовая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Наука, 1969. – 215 с.
321. Шнитников А.В., Зубаков В.А., Ловелиус Н.В. III Всесоюзное совещание по ритмам природных явлений // Изв. ВГО. – 1997. – Т. 109. – Вып. 5. – С. 454–456.
322. Шостакович В.Б. Толщина ледяного покрова на водоемах Восточной Сибири // Известия Восточно-Сибирского отделения Русского географического общества. – 1904. – Т. 34. – № 2.

323. Эйгенсон М.С. Солнце, погода, климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 274 с.
324. Яковлева Н.И. Об автоколебательном характере изменения климата // Известия АН СССР. – Серия физика атмосферы и океана. – 1965. – Т. 5. – № 11. – С. 1212–1214.
325. Climatic Change. Annex III: Standard tests of significant to be recommended in routine analysis of climatic fluctuation // WMO, Technical Note. No 79. – Geneva. – 1966. – № 195. – P. 3–10.
326. Fucuoка J. On the periodicity of the variations of the oceanic conditions // Journal Mar. meteor. soc. – 35, 1959. – № 1.
327. Jagannatan P., Parthasarathy B. Trends and periodicities of rainfall over India. – Mon. wea. rev. – 1973. – Vol. 101. – № 4. – P. 371–375.
328. Jontiirk H. Bayar O. Water Resources of Turkish. – 1968. – № 1. – P. 9–12.
329. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections. Ch. 4, 111–154 In: Groisman and Gutmann (eds), 2013: Environmental Changes in Siberia: Regional Changes and Their Global Consequences. Springer. – 357 p.
330. Koflanovitss E. Analisis of the variability of presititation in Central Europe. – Budapest, 1977. – 71 p.
331. Korganova N.S., Kartvelishvili N.A. On determinate components in process of natural stream flow // International Symposium on Mathematical models in hydrology. – Warsaw – Poland, 1971. – Vol. 1. – Part. 1. – P. 205–210.
332. Manabe S., Stouffer R.J. Nature, 1993. – V. 364. – № 6434. – P. 215–218.
333. O'Brien J., Jones C. Atlantic Ocean SST reanalysis 1949–1989. – Workshop on Atlantic Ocean climate variability, 1992, JOC Workshop report. – № 84. – An. II. – P. 1.
334. Rimma Alessandro. Considerazioni sullo periodicita dei deflussicon particolare riguardo alle serie annuallle delle medie mensili del fiume Ticino a Bellizona // Acqua undustr. – Vol. 5. – № 28. – 1963.
335. Williams J. Spezial analisis of sseasonal prepititation data from North America and Europe. – Mon. wea. rev., 1978, vol. 106. – № 6. – P. 898–900.
336. Yevievich V.M. Some general aspects of fluctuations of annual runoff in the Upper Colorado River basin // Engineering Research Colorado State University. – October, 1961.
337. Yevievich V.M. The application of surplus, deficit and rage in hydrology. – Colorado, 1965. – P. 10.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

*Основные характеристики рек Челябинской области  
(Познай свой край, 2004)*

Бассейн реки	Река	Куда впадает	Длина реки, км.		Площадь водосбора км <sup>2</sup>
			общая	в пределах области	
Кама	Сим	Белая	239	119	2000
	Аша	Сим	59	59	
	Уфа	Белая	918	245	
	Уфалей	Уфа	70	70	
	Ураим	Уфа	74	74	5580
	Ай	Уфа	549	217	
	Куса	Ай	59	59	
	Б. Сатка	Ай	88	88	
	Юрюзань	Уфа	404	180	
	Катав	Юрюзань	110	92	
Урал	Урал	Каспийское море	2428	357	16430
	Гумбейка	Урал	202	202	
	Зингейка	Урал	102	102	
	Б. Караганка	Урал	111	111	
	Утяганка	Б. Караганка	200	200	
Тобол	Миасс	Исеть	685	384	6830
	Б. Киалим	Миасс	46	46	
	Зюзелга	Миасс	65	65	5520
	Теча	Исеть	243	156	
	Синара	Исеть	148	107	
	Караболка	Синара	76	76	
	Уй	Тобол	462	370	9120
	Санарка	Уй	90	90	
	Курасан	Уй	79	79	5800
	Увелька	Уй	234	234	
	Коелга	Увелька	79	79	
	Кабанка	Увелька	85	85	
	Тогузак	Уй	246	151	
	В. Тогузак	Тогузак	98	98	

Окончание приложения 1

Бассейн реки	Река	Куда впадает	Длина реки, км.		Площадь водосбора км <sup>2</sup>
			общая	в пределах области	
Тобол	Аят	Тобол	117	22	5940
	Карталы-Аят	Аят	175	175	
	Арчаглы-Аят	Аят	174	169	
	Камышлы-Аят	Арчаглы	145	73	4440
	Синташты	Тобол	452	107	
	Берсулат	Синташты	100	87	

Водность ( $P_m$ ) лет с 1968–2003 гг.

Год	Река					
	р. Ай – Златоуст		р. Увелька – Красносельское		р. Урал – Верхнеуральск	
	$P_m$ (%)	Водность	$P_m$ (%)	Водность	$P_m$ (%)	Водность
1968	32,4	IV	29,7	IV	16,2	V
1969	16,2	V	67,6	II	13,5	V
1970	18,9	IV	5,4	V	5,4	V
1971	10,8	V	24,3	IV	29,7	IV
1972	35,1	III	10,8	V	48,6	III
1973	54,1	III	83,8	I	73,0	II
1974	73,0	II	51,4	III	45,9	III
1975	97,3	I	97,3	I	97,3	I
1976	94,6	I	94,6	I	94,6	I
1977	64,9	III	91,9	I	86,5	I
1978	40,5	III	43,2	III	43,2	III
1979	62,2	III	54,1	III	70,3	II
1980	70,3	II	40,5	III	40,5	III
1981	48,6	III	32,4	IV	24,3	IV
1982	91,9	I	73,0	II	83,8	I
1983	43,2	III	27,0	IV	56,8	III
1984	45,9	III	75,7	II	81,1	II
1985	59,5	III	45,9	III	35,1	III
1986	29,7	IV	81,1	II	54,1	III
1987	27,0	IV	18,9	IV	21,6	IV
1988	83,8	I	35,1	III	62,2	III
1989	51,4	III	64,9	III	37,8	III
1990	8,1	V	59,5	III	18,9	IV
1991	75,7	II	70,3	II	75,7	II
1992	75,7	II	89,2	I	91,9	I
1993	24,3	IV	62,2	III	64,9	III
1994	5,4	V	8,1	V	10,8	V
1995	89,2	I	78,4	II	59,5	III
1996	86,5	I	86,5	I	89,2	I
1997	56,8	III	37,8	III	67,6	II
1998	81,1	II	56,8	III	78,4	II

Окончание приложения 2

Год	Река					
	р. Ай – Златоуст		р. Увелька – Красносельское		р. Урал – Верхнеуральск	
	$P_m$ (%)	Водность	$P_m$ (%)	Водность	$P_m$ (%)	Водность
1999	37,8	III	48,6	III	51,4	III
2000	2,7	V	2,7	V	2,7	V
2001	21,6	IV	16,2	V	32,4	IV
2002	13,5	V	13,5	V	8,1	V
2003	67,6	II	21,6	IV	27,0	IV

*Примечание: I – очень маловодные год, II – маловодные годы,  
 III – средние по водности годы, IV – многоводные годы,  
 V – очень многоводные годы*

Коэффициенты корреляции Спирмэна ( $r$ ) и вероятность связи ( $P$ )  
в кластерах и за весенний период за 1968–2003 гг.

Река – пункт																		
	$r$	$P(\%)$	Юрюзань-Вязовая	Куса-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодпитомник	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыягт-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское
Юрюзань-Вязовая	$r$		0,70	0,74	0,72	0,59	0,58	0,70	0,90	0,88	0,55	0,50	0,40	0,48	0,35	0,67	0,57	0,50
	$P(\%)$		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,8	98,8	99,7	>99,9	>99,9	>99,9
Куса-Магнитка	$r$	0,70		0,62	0,54	0,50	0,56	0,73	0,81	0,79	0,51	0,47	0,39	0,47	0,31	0,67	0,46	0,40
	$P(\%)$	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,5	98,6	99,5	94,1	>99,9	99,7	98,7
Тюлюк-Тюлюк	$r$	0,74	0,62		0,79	0,49	0,47	0,41	0,76	0,81	0,47	0,39	0,37	0,42	0,34	0,57	0,53	0,47
	$P(\%)$	>99,9	>99,9		>99,9	99,9	99,5	98,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,5	98,5	97,6	99,2	>99,9	>99,9	>99,9
Катав-В Катав	$r$	0,72	0,54	0,79		0,71	0,62	0,50	0,71	0,73	0,35	0,31	0,22	0,29	0,37	0,44	0,49	0,47
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	99,9	>99,9	>99,9	>99,9	93,7	<90	91,2	97,6	99,5	99,9	99,5
Сим-Миньяр	$r$	0,59	0,50	0,49	0,71		0,89	0,64	0,61	0,62	0,28	0,40	0,29	0,32	0,40	0,43	0,50	0,47
	$P(\%)$	>99,9	99,9	99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	<90	98,8	91,5	95,0	98,8	99,4	99,9	99,7
Сим-Серпиевка	$r$	0,58	0,56	0,47	0,62	0,89		0,73	0,62	0,62	0,29	0,39	0,25	0,34	0,25	0,45	0,48	0,43
	$P(\%)$	>99,9	99,9	99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	91,8	98,8	<90	96,2	<90	99,5	99,8	99,45
Уфа-Нязепетровск	$r$	0,70	0,73	0,41	0,50	0,64	0,73		0,75	0,73	0,53	0,59	0,47	0,57	0,34	0,60	0,55	0,57
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	98,9	99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,5	>99,9	96,5	>99,9	>99,9	>99,9
Ай-Златоуст	$r$	0,90	0,81	0,76	0,61	0,75	0,62	0,75		0,97	0,72	0,66	0,57	0,64	0,49	0,84	0,73	0,62
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,9	>99,9	>99,9	>99,9

Окончание приложения 3.1

Река – пункт		Юрзань-Вязовая	Куса-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодотомник	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Картальяят-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский
Ай-	r	0,88	0,79	0,81	0,73	0,62	0,62	0,73	0,97		0,76	0,71	0,62	0,69	0,54	0,86	0,80	0,71
Веселовка	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Уй-Степное	r	0,55	0,51	0,47	0,35	0,28	0,29	0,53	0,72	0,76		0,89	0,89	0,90	0,63	0,90	0,83	0,70
	P(%)	>99,9	99,9	99,5	96,9	<90	91,8	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Уй-Плодотомник	r	0,50	0,47	0,39	0,31	0,40	0,39	0,59	0,66	0,71	0,89		0,90	0,90	0,75	0,84	0,91	0,85
	P(%)	99,8	99,5	98,4	93,7	98,8	98,8	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Увелька-Карсинский	r	0,40	0,39	0,37	0,22	0,29	0,25	0,47	0,57	0,62	0,89	0,90		0,95	0,63	0,79	0,79	0,70
	P(%)	98,9	98,7	97,6	<90	91,5	<90	99,5	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Увелька-Красносельское	r	0,48	0,47	0,42	0,29	0,32	0,34	0,57	0,64	0,69	0,90	0,90	0,95		0,61	0,81	0,79	0,69
	P(%)	99,8	99,5	99,2	91,2	95,0	96,2	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Картальяят-Карталы	r	0,35	0,31	0,34	0,37	0,40	0,25	0,34	0,49	0,54	0,63	0,75	0,63	0,61		0,62	0,76	0,78
	P(%)	96,8	94,1	96,5	97,6	98,8	<90	96,5	99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9
Урал-Верхнеуральск	r	0,67	0,67	0,57	0,44	0,43	0,45	0,60	0,84	0,86	0,90	0,84	0,79	0,81	0,62		0,86	0,71
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	99,5	99,4	99,5	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9
Урал-Кизильское	r	0,57	0,46	0,53	0,49	0,50	0,48	0,55	0,73	0,80	0,83	0,91	0,79	0,79	0,76	0,86		0,93
	P(%)	>99,9	99,7	>99,9	99,9	99,9	99,8	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Гумбейка-Наваринский	r	0,50	0,40	0,47	0,47	0,47	0,43	0,57	0,62	0,71	0,70	0,85	0,70	0,69	0,78	0,71	0,93	
	P(%)	99,9	98,7	99,5	99,5	99,7	99,4	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9

Коэффициенты корреляции Спирмена ( $r$ ) и вероятность связи ( $P$ ) в кластерах и за летне-осенний период за 1968–2003 гг.

Река – пункт	$r$	$P(\%)$	Юрюзань-Вязовая	Куса-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодотомник	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыят-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Тумбейка-Наваринский
	Юрюзань-Вязовая	0,77	>99,9		0,77	0,88	0,89	0,87	0,85	0,76	0,89	0,89	0,63	0,67	0,42	0,66	0,56	0,69	0,65
Куса-Магнитка	0,77	>99,9			0,81	0,78	0,74	0,70	0,85	0,87	0,82	0,67	0,69	0,53	0,74	0,69	0,66	0,68	0,66
Тюлюк-Тюлюк	0,88	>99,9	0,81			0,86	0,79	0,79	0,73	0,94	0,93	0,73	0,70	0,51	0,72	0,62	0,78	0,64	0,53
Катав-В Катав	0,89	>99,9	0,78	0,86	0,86		0,86	0,89	0,71	0,85	0,84	0,57	0,59	0,42	0,59	0,58	0,70	0,60	0,48
Сим-Миньяр	0,87	>99,9	0,74	0,79	0,79	0,86		0,92	0,64	0,81	0,80	0,56	0,62	0,41	0,60	0,67	0,68	0,68	0,57
Сим-Серпиевка	0,85	>99,9	0,79	0,85	0,85	0,89	0,92		0,65	0,78	0,80	0,51	0,59	0,44	0,59	0,57	0,67	0,60	0,46
Уфа-Нязепетровск	0,76	>99,9	0,85	0,73	0,73	0,71	0,64	0,65		0,82	0,79	0,68	0,72	0,45	0,74	0,51	0,69	0,70	0,57
Ай-Златоуст	0,89	>99,9	0,87	0,82	0,82	0,82	0,81	0,82	0,82		0,97	0,78	0,79	0,57	0,82	0,64	0,79	0,75	0,62
Тумбейка-Наваринский		>99,9							0,82										

Окончание приложения 3.2

Река – пункт		Юрзань-Вязовая	Куса-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыят-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский
Ай-Веселовка	r	0,89	0,82	0,93	0,84	0,80	0,80	0,79	0,97		0,79	0,82	0,59	0,84	0,64	0,82	0,76	0,64
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Уй-Степное	r	0,63	0,67	0,73	0,57	0,56	0,51	0,68	0,78	0,79		0,94	0,73	0,84	0,60	0,93	0,83	0,72
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Уй-Плодопитомник	r	0,67	0,69	0,70	0,59	0,62	0,59	0,72	0,79	0,82	0,94		0,78	0,83	0,60	0,92	0,90	0,77
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Увелька-Карсинский	r	0,42	0,53	0,51	0,42	0,41	0,44	0,45	0,57	0,59	0,73	0,78		0,73	0,46	0,68	0,67	0,65
	P(%)	99,2	>99,9	99,9	99,3	99,0	99,5	99,8	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,7	>99,9	>99,9	>99,9
Увелька-Красносельское	r	0,66	0,74	0,72	0,59	0,60	0,59	0,74	0,82	0,84	0,84	0,83	0,73		0,69	0,78	0,80	0,73
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Карталыят-Карталы	r	0,56	0,69	0,62	0,58	0,67	0,57	0,51	0,64	0,64	0,60	0,60	0,46	0,69		0,58	0,70	0,76
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,7	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Урал-Верхнеуральск	r	0,69	0,66	0,78	0,70	0,68	0,67	0,69	0,79	0,82	0,93	0,92	0,68	0,78	0,58		0,85	0,69
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Урал-Кизильское	r	0,65	0,68	0,64	0,60	0,68	0,60	0,70	0,75	0,76	0,83	0,90	0,67	0,80	0,70	0,85		0,91
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
Гумбейка-Наваринский	r	0,55	0,66	0,53	0,48	0,57	0,46	0,57	0,62	0,64	0,72	0,77	0,65	0,73	0,76	0,69	0,91	
	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	99,8	>99,9	99,7	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9

Коэффициенты корреляции Спирмена ( $r$ ) и вероятность связи ( $P$ ) в кластерах и за зимний период за 1968–2003 гг.

Река – пункт	Коэффициенты корреляции Спирмена ( $r$ ) и вероятность связи ( $P$ ) в кластерах и за зимний период за 1968–2003 гг.																		
	$r$	$P(\%)$	Юрюзань-Вязовая	Куся-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодопитомник	Увелька-Карпинский	Увелька-Красносельское	Карталыят-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Умбайка-Наваринский
Юрюзань-Вязовая	$r$		0,79	0,68	0,92	0,82	0,78	0,68	0,58	0,67	0,32	0,44	0,44	0,44	0,69	0,08	0,51	0,46	0,48
	$P(\%)$		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	95,1	99,5	99,5	99,5	>99,9	<90	99,9	99,7	99,9
Куся-Магнитка	$r$	0,79		0,54	0,77	0,74	0,74	0,72	0,76	0,83	0,43	0,53	0,53	0,53	0,67	0,05	0,66	0,63	0,68
	$P(\%)$	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,3	99,9	99,9	>99,9	>99,9	<90	>99,9	>99,9	>99,9
Тюлюк-Тюлюк	$r$	0,68	0,54		0,66	0,68	0,54	0,32	0,28	0,45	0,43	0,39	0,39	0,39	0,59	0,03	0,53	0,39	0,39
	$P(\%)$	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	94,9	91,1	99,7	99,3	98,6	98,6	98,5	>99,9	<90	>99,9	98,4	99,8
Катав-В Катав	$r$	0,92	0,77	0,66		0,82	0,75	0,65	0,65	0,65	0,30	0,39	0,36	0,36	0,61	0,01	0,56	0,48	0,52
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	93,1	98,6	97,4	97,4	>99,9	<90	>99,9	99,8	99,9
Сим-Миньяр	$r$	0,82	0,74	0,68	0,82		0,77	0,65	0,53	0,61	0,40	0,45	0,44	0,44	0,61	0,20	0,67	0,55	0,54
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	98,8	99,6	99,5	99,5	>99,9	<90	>99,9	>99,9	>99,9
Серпиевка	$r$	0,78	0,74	0,54	0,75	0,77		0,79	0,60	0,70	0,40	0,56	0,56	0,56	0,73	0,12	0,56	0,45	0,41
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	98,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	<90	>99,9	99,6	99,0
Уфа-Нязепетровск	$r$	0,68	0,72	0,32	0,65	0,65	0,79		0,69	0,71	0,36	0,58	0,51	0,51	0,66	0,01	0,49	0,55	0,50
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	94,9	>99,9	>99,9			>99,9	>99,9	97,6	>99,9	99,9	99,9	>99,9	<90	99,9	>99,9	99,9
Ай-Златоуст	$r$	0,58	0,76	0,28	0,65	0,53	0,60	0,69		0,83	0,52	0,69	0,38	0,38	0,59	0,21	0,59	0,57	0,60
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	91,1	>99,9	99,9	>99,9	>99,9		>99,9	99,9	>99,9	98,1	98,1	>99,9	<90	>99,9	>99,9	>99,9
Ай-Веселовка	$r$	0,67	0,83	0,45	0,65	0,61	0,70	0,71	0,83		0,58	0,70	0,46	0,46	0,74	0,06	0,73	0,64	0,66
	$P(\%)$	>99,9	>99,9	99,7	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9		>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9

Окончание приложения 3.3

Река – пункт	Юрзань-Вязовая															
	Куса-Магнитка	Тюлюк-Тюлюк	Катав-В Катав	Сим-Миньяр	Сим-Серпиевка	Уфа-Нязепетровск	Ай-Златоуст	Ай-Веселовка	Уй-Степное	Уй-Плодотомник	Увелька-Карсинский	Увелька-Красносельское	Карталыат-Карталы	Урал-Верхнеуральск	Урал-Кизильское	Гумбейка-Наваринский
Уй-	r	0,32	0,43	0,30	0,40	0,40	0,36	0,52	0,58	0,80	0,50	0,59	0,45	0,72	0,40	0,42
Степное	P(%)	95,1	99,3	93,1	98,8	98,9	97,6	99,9	>99,9	>99,9	99,9	>99,9	99,6	>99,9	98,7	99,2
Уй-Пло-	r	0,44	0,53	0,39	0,45	0,56	0,58	0,69	0,70	0,80	0,68	0,81	0,34	0,70	0,62	0,52
допитомник	P(%)	99,5	99,9	98,6	99,6	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	96,5	>99,9	>99,9	99,9
Увелька-	r	0,44	0,53	0,36	0,44	0,56	0,51	0,38	0,46	0,50	0,65	0,15	0,15	0,54	0,57	0,43
Карсинский	P(%)	99,5	>99,9	97,4	99,5	>99,9	99,9	98,1	99,7	99,9	4,93	<90	<90	>99,9	>99,9	99,4
Увелька-	r	0,69	0,67	0,61	0,61	0,73	0,66	0,59	0,74	0,59	0,65	0,13	0,13	0,64	0,61	0,54
Красно-	P(%)	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	<90	<90	>99,9	>99,9	>99,9
сельское	r	0,08	0,05	0,01	0,20	0,12	0,01	0,21	0,06	0,45	0,15	0,13		0,37	0,24	0,31
Карталыа-	P(%)	<90	<90	<90	<90	<90	<90	<90	<90	99,6	<90	<90		97,9	<90	93,4
ят-Карталы	r	0,51	0,66	0,56	0,67	0,56	0,49	0,59	0,73	0,72	0,54	0,64	0,37	0,76	0,76	0,76
Урал-	P(%)	99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	97,9		>99,9	>99,9
Верхне-	r	0,46	0,63	0,39	0,55	0,45	0,55	0,57	0,64	0,40	0,57	0,61	0,24	0,76		0,91
уральск	P(%)	99,7	>99,9	98,4	>99,9	99,6	>99,9	>99,9	>99,9	98,7	>99,9	>99,9	<90	6,72		>99,9
Урал-	r	0,48	0,68	0,39	0,52	0,41	0,50	0,60	0,66	0,42	0,43	0,54	0,31	0,76	0,91	
Кизильское	P(%)	99,9	>99,9	98,5	>99,9	99,0	99,9	>99,9	>99,9	99,2	99,9	>99,9	93,4	>99,9	>99,9	
Гумбейка-	r	0,48	0,68	0,39	0,52	0,41	0,50	0,60	0,66	0,42	0,43	0,54	0,31	0,76	0,91	
Наваринский	P(%)	99,9	>99,9	98,5	>99,9	99,0	99,9	>99,9	>99,9	99,2	99,9	>99,9	93,4	>99,9	>99,9	

Научное издание

БУБИН Михаил Николаевич  
РАССКАЗОВА Надежда Степановна

**РИТМИЧНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ  
СТОКА РЕК КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ  
ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА  
(на примере Урала)**

Монография

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка *М.Н. Бубин, К.С. Чечельницкая*  
Дизайн обложки *О.А. Аршинова*

Подписано к печати 30.07.13. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 16,23. Уч.-изд. л. 14,68.  
Заказ 566-13. Тираж 100 экз.

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)