



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

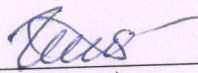
На тему **Оценка характеристик группировок
минимального стока рек
Арктической зоны**

Исполнитель Суворова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Викторова Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«16» июль 2016г.

Санкт-Петербург
2026

Содержание

Введение.....	3
1 Физико-географическое описание района.....	6
2 Математический аппарат теории случайных выбросов.....	15
2.1 Методика расчета характеристик группировок минимального стока ..	15
2.2 Расчет характеристик группировок минимального стока	19
3 Расчет характеристик группировок.....	24
3.1 Исходные данные.....	24
3.2 Оценка стационарности рядов минимального стока	26
3.2.1 Параметрический критерий Стьюдента	26
3.2.2 Параметрические критерий Фишера	27
3.2.3 Непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова.....	28
3.2.4 Результаты оценки стационарности рядов минимального стока	28
3.3 Расчет основных статистических характеристик	30
3.4 Анализ автокорреляционной функции	31
3.5 Расчет характеристик группировок	33
Заключение	36
Список использованных источников	37
Приложение А. Сведения по гидрологическим постам.....	39
Приложение Б. Результаты оценки однородности рядов минимального 30- суточного стока	42
Приложение В. Статистические характеристики стока	48
Приложение Г. Оценка коэффициента автокорреляции.....	53
Приложение Д. Основные характеристики группировок стока	56

Введение

Важным фактором социально-экономического развития и экологической безопасности страны являются водные ресурсы. Особо остро этот вопрос встает в арктическом регионе, где гидрологическая сеть довольно редкая, а водные объекты могут быть особо чувствительны к климатическим изменениям и к антропогенному воздействию. Европейский Север России, характеризующийся суровыми климатическими условиями, широким распространением многолетней мерзлоты и специфическим гидрологическим режимом, выступает в роли естественного индикатора глобальных и региональных изменений окружающей среды.

В последние годы на Крайнем севере хозяйственная деятельность становится более интенсивной, идет освоение природных ресурсов, активно развивается транспортная инфраструктура и промышленность. Все это может существенно сказаться на трансформации естественного водного баланса. И конечно это неизбежно сказывается на режиме рек, в частности, на наиболее консервативных и критически важных его элементах – минимальных расходах воды. Минимальный сток является лимитирующим фактором для обеспечения бесперебойного водоснабжения населения и промышленных предприятий, функционирования судоходства, а также поддержания экологического равновесия в водных экосистемах. Снижение минимальных расходов ниже критических отметок может привести к деградации водотоков, ухудшению качества воды из-за снижения разбавляющей способности реки и нарушению условий обитания ценных видов рыб.

Традиционные методы гидрологических расчётов, основанные на допущении о стационарности (неизменности) статистических характеристик стока во времени, в современных условиях требуют критического пересмотра. Климатическая нестабильность и возрастающее влияние хозяйственной деятельности приводят к нарушению стационарности гидрологических рядов. В связи с этим возникает необходимость в углублённом изучении пространственно-

временных закономерностей многолетних колебаний минимального стока с применением современных методов математической статистики для верификации данных и оценки рисков. Анализ стационарности рядов и оценка их однородности становятся фундаментальной основой для получения достоверных расчётных характеристик, необходимых для проектирования гидротехнических сооружений и обоснования водохозяйственных мероприятий.

Большинство исследований традиционно фокусируется на максимальном стоке (максимальных расходах половодьях и дождевых паводков), в то время как режиму минимального стока уделяется значительно меньше внимания.

Существующие методики оценки однородности гидрологической информации с применением критериев Стьюдента, Фишера и Колмогорова-Смирнова требуют адаптации применительно к специфическим рядам минимальных расходов, которые часто содержат статистические выбросы и подвержены влиянию локальных антропогенных факторов. Кроме того, вопросы применения теории случайных функций для анализа внутрирядной связанности (автокорреляции) и расчёта характеристик группировок (выбросов) применительно к данному региону остаются недостаточно исследованными.

Целью выпускной квалификационной работы является комплексное исследование пространственно-временных закономерностей многолетних колебаний минимального 30-суточного зимнего и летнего стока рек Арктической зоны европейской части России.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформировать базу данных по гидрологическим постам региона, провести её систематизацию и предварительную обработку.
2. Выполнить оценку статистической однородности временных рядов минимального стока с использованием параметрических (Стьюдента, Фишера) и непараметрического (Колмогорова-Смирнова) критериев.

3. Рассчитать основные статистические характеристики рядов (средние многолетние значения, коэффициенты вариации и асимметрии) и оценить их погрешности.

4. Провести анализ внутрирядной связанности (автокорреляции) минимальных расходов воды с использованием как индивидуальных оценок по постам, так и комбинированной оценки по физико-географическим районам.

5. Разработать методику расчёта характеристик группировок (частоты появления и средней продолжительности периодов с расходами ниже заданного уровня) с применением аппарата теории случайных выбросов.

6. Сопоставить результаты теоретических расчётов с эмпирическими данными для оценки их достоверности.

7. Обобщить полученные результаты и сформулировать выводы о пространственно-временных закономерностях формирования минимального стока в исследуемом регионе.

Объектом исследования выступает гидрологический режим рек Арктической зоны европейской части России.

Предметом исследования являются статистические закономерности многолетних колебаний минимального 30-суточного зимнего и летнего стока.

В работе использованы как классические методы математической статистики (проверка гипотез о равенстве средних и дисперсий), так и современные подходы теории случайных процессов. Информационной базой послужили данные многолетних наблюдений за расходами воды на государственной гидрологической сети, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра.

1 Физико-географическое описание района

В работе рассматривались водотоки, расположенные в границах Арктической зоны в границах следующих областей Мурманская область, Республика Карелия, Архангельская область, Ненецкий автономный округ. На рисунке 1.1 приведены границы Арктической зоны на Европейской территории России.



Рисунок 1.1 – Границы Арктической зоны российской Федерации

Кольский полуостров омывается Баренцевым морем с севера и северо-востока и Белым морем с юга и юго-востока. Большая часть территории полуострова находится за Полярным кругом, что определяет его принадлежность к Арктической зоне и детализирует все природные процессы, в том числе и формирование речного стока.

Климат Кольского полуострова характеризуется суровостью, которая напрямую влияет на гидрологический режим реки и формирование минимального стока. Согласно многолетним наблюдениям, среднегодовая температура

на побережье Баренцева моря колеблется от минус 0.2 до +0.3 °С, а в прибрежных районах опускается до минус 1 – 2 °С. Самые холодные месяцы – январь и февраль, месяцы, когда средняя температура на побережье Баренцева моря колеблется от минус 7 до минус 9 °С, в остальная часть полуострова колеблется от минус 10 до минус 14 °С. Минимальное годовое абсолютное значение температуры наступает на февраль месяц и достигает 28 – 36 °С ниже нуля на побережье Баренцева моря и 40 – 50° ниже нуля в районах, удаленных от побережья.

Снежный покров на полуострове образуется в среднем в первый день 11-го месяца. Разрушение постоянного снежного покрова происходит в зависимости от региона в течение апреля месяца (с начала до конца месяца). Наибольшие запасы воды в снегу накапливаются с конца марта в начале апреля, но высота снежного покрова в большинстве районов составляет в среднем 60 – 80 см, а в некоторые годы превышает 100 см.

Важным фактором разлома суши является наличие тундровых зон, которые простираются вдоль северного и северо-восточного побережья на 20 – 30 км (центральная часть вытянута на 120 км) и занимают значительную часть территории. Сочетание низких температур, продолжительных периодов похолодания, стабильного снежного покрова и наличия обширных пространств тундры создает предпосылки для формирования в Арктике крайне низких минимальных значений стока и его высокой пространственной неоднородности.

Количественные показатели меженного стока, полученные в результате гидрологических наблюдений, важны для оценки группировки минимального стока в реках.

В летне-осенний период средний многолетний суточный модуль минимального стока в северной части Кольского полуострова колеблется от 4 до 10 л/с·км², что значительно ниже, чем в южных регионах (он достигает 2 – 7 л/с·км²). Зимняя межень характеризуется еще более низкими значениями: средний многолетний минимальный суточный модуль стока составляет всего 1 – 2.5 литра, лишь на северо-западе территории и достигает 3 л/с·км².

Важным показателем является продолжительность периода меженного периода. Средняя продолжительность межени составляет 160 – 190 дней, но в северных реках полуострова он на 5 – 10 дней длиннее, чем в южных, что свидетельствует о более длительном периоде очень низкого уровня воды в арктической зоне.

Пространственное распределение минимального стока наглядно иллюстрируется картами минимального 30-дневного стока 90%-ной обеспеченности. Анализ этих карт показывает, что размер стока периодически уменьшается по мере его продвижения с запада на восток и северо-восток полуострова в направлении арктических районов. В восточной части северного побережья величина минимального стока уменьшается до 2 - 6 л/сек· км² летом и осенью и до 1 – 3 л/сек· км² зимой.

Таким образом, арктическая зона характеризуется значительной пространственной дифференциацией минимального стока, что позволяет выделить группы рек с очень низкими водности в летний и зимний периоды, что требует особого подхода к оценке водных ресурсов.

Особенностью гидрологического режима малых рек арктической зоны является возникновение пересыхания и промерзания, что служит показателем очень низких значений минимального стока.

Пересыхание водных путей Кольского полуострова наблюдается в редкие аномальные годы и только на небольших водных путях. В чрезвычайно маловодном и засушливом 1960 году из 20 обследованных ручьёв с площадями водосбора менее 100 км² 11 оказались полностью пересохшими. Площадь водосборов пересохших водотоков составляла от 4.3 до 42 км².

Замерзание водных путей происходит несколько чаще, чем высыхание, и также характерно для малых рек. Площади водосборов замерзших рек колеблется в очень широких пределах, до 140 км², что подтверждает уязвимость малых водотоков в Арктике к воздействию экстремальных климатических условий.

Эти явления свидетельствуют о том, что воды арктической зоны и должны учитываться при формировании группировок водотоков по гидрологическому режиму и при оценке минимального стока., что может произойти при формировании группировок водотоков в соответствии с гидрологическим режимом или в самых экстремальных условиях.

Научная правомерность выделения Арктической зоны в качестве самостоятельного объекта исследования подтверждена схемой гидрологического районирования Кольского полуострова. Из-за характера распределения внутригодового стока вся территория разделена на четыре гидрологических района. Первый (I) Северный район включает бассейны всех рек, впадающих в Баренцево море, которые по своему составу подразделяются на еще несколько субрегионов.

Официальное отнесение к Северному (арктическому) региону служит серьезным аргументом в пользу того, что реки этой зоны обладают определенными характеристиками стока, требующими отдельного анализа и оценки группировок минимального стока.

Республика Карелия, находящаяся в северо-западной части России, в таёжной зоне Восточно-Европейской равнины. Протяжённость её территории – порядка 800 км в меридиональном направлении (между 60° и 66° с. ш.) и около 500 км – в широтном. Соседними граничащими регионами выступают Мурманская, Архангельская, Вологодская и Ленинградская области; на западе республика граничит с Финляндией. Площадь Карелии – 180.5 тыс. км²: поэтому показателю регион сопоставим с суммарной территорией Австрии и Венгрии.

Положение республики существенно влияет на климатические и гидрологические особенности местности. Карелия попадает в зону западного переноса воздушных масс – это становится причиной неустойчивой погоды, больших объёма осадков и сравнительно тёплых (мягких) зим (в сравнении с районами на аналогичных широтах, но расположенных восточнее). При этом климатическая неоднородность внутри республики заметна: близость Белого

моря и удалённость от Атлантического океана формируют различия в условиях климата между западными и восточными территориями [2].

С тектонической точки зрения Карелия занимает пограничную зону: здесь смыкаются Балтийский кристаллический щит и Русская платформа. Такое расположение определило специфику рельефа, геологического строения и сети водоёмов. Многие озёра и реки возникли вдоль тектонических разломов либо имеют тектоническую природу.

В рамках гидрологического районирования Карелию относят к бассейнам Белого и Балтийского морей. Водораздел протекает по возвышенностям, направленным в меридиональном направлении.

Практически все населённые пункты, включая Петрозаводск, размещены у водоёмов, и поэтому состояние водных объектов напрямую критически важно влияет на жизнь людей. Среди актуальных гидрологических проблем – весенние половодья, снижение уровня воды в межень (что осложняет работу водозаборов), а также позднее формирование ледяного покрова, затрудняющее судоходство. Все в совокупности является перечнем опасных гидрологических явлений для данного региона.

Рельеф республики отличается некоторыми характерными чертами, не типичных для большей части равнины Русской. Преобладающий тип местности – всхолмлённая равнина, сохранившая следы древних оледенений. Высотные (абсолютные) отметки варьируются от уровня Белого моря до 576 м (гора Нуорунен); при этом значительная часть территории располагается на высоте 100 – 200 м над уровнем моря.

Рельеф Карелии считается «молодым». В четвертичный период территория неоднократно оказывалась под ледниковыми покровами; завершающим посланием этапом стало Валдайское (Скандинавское) оледенение, пришедшее в упадок примерно 10–12 тысяч лет назад. Следствием деятельности ледника стали специфические формы рельефа: бараньи лбы, курчавые скалы, озы, камы, зандровые поля, а также многочисленные котловины, которые со временем заполнились водой и создали озёрную систему [2].

Орографически в республике выделяют несколько крупных форм рельефа. На западе и северо-западе, у границы с Финляндией, тянется Западно-Карельская возвышенность (высоты – 300–400 м). Здесь расположены самые высокие точки региона: гора Нуорунен (576 м) и гора Воттоваара (417 м). В геологическом плане возвышенность сложена древними кристаллическими породами (гранитами, гнейсами, диоритами архейско-протерозойского возраста), которые либо являются на поверхность, либо скрыты тонким слоем моренных отложений. Реки, стекающие с западных склонов, направляются к Финляндии и далее к Балтийскому морю. Реки с восточных склонов впадают в озеро Онежское.

Центральную часть республики занимает низменность – Онежско-Ладожская. Она протягивается преимущественно в субмеридиональном направлении. Абсолютные высоты здесь не превышают 100 м. Эта территория представляет собой тектоническую депрессию, впоследствии Измененную ледниковой деятельностью. Именно в пределах этой низменности находятся крупнейшие озёра Европы – Ладожское и Онежское. Рельеф преимущественно плоский, местами заболоченный, с большим количеством мелких озёр и протоков.

На восточной части выделяется Восточно-Карельская возвышенность, постепенно переходящая в Онежско-Северодвинскую равнину. Средние высоты – 150–200 м. Возвышенность выполняет функцию водораздела между бассейнами Белого и Балтийского морей. Её рельеф отличается сглаженностью, широкими плоскими междуречьями и пологими склонами.

Север Карелии занимает цепь холмов (Ветренный Пояс), протянувшаяся от Онежского озера до Белого моря (высоты – 200–250 м). Название отражает её суть: возвышенность препятствует движению западных ветров, из-за чего на наветренных склонах повышается облачность и увеличиваются осадки осадков [2].

Особенности рельефа напрямую определяют гидрологическую природу карельской речной системы. Для начала, это небольшие уклоны русел. На

большинстве участков перепад высот незначительны, поэтому скорость течения реки медленная, а долина слегка врезана. Скорость течения на мелководных участках обычно не больше 0,3 – 0,5 м/с, которая увеличивается только на порожистых участках. Второй важной особенностью является широкое распространение озерных водоемов: многие озера речной цепи соединены короткими протоками. Эта структура естественным образом контролирует сток: она полирует верхнюю часть водосбора и обеспечивает относительно стабильный поток воды между уровнями. Третьей особенностью является наличие скал и возвышенностей, особенно на западе, где кристаллические породы выходят на поверхность. В этих районах во время ледоходов часто образуются заторы, что приводит к резкому повышению уровня воды – одному из самых опасных гидрологических явлений в регионе.

Климатические условия Карелии формируются под влиянием нескольких факторов: расположение в высоких широтах (60-66°С), близость к Атлантическому океану, влияние Арктического бассейна. Согласно классификации П.Б. Алисова относится к умеренному поясу Арктико-Атлантической зоне, где морской климат сочетает в себе черты континентальности.

Климатические особенности Карелии известны своей относительной мягкостью в этих широтах. Среднегодовая температура колеблется от 0°С на севере до 3°С на юге. Для сравнения, на аналогичных широтах в Сибири среднегодовая температура находится в пределах минус 5 ° –минус 10 °С. Этот эффект обусловлен переносом теплых масс на запад через Атлантический океан, включая воздействие Северо-Атлантического течения (продолжение Гольфстрима). В то же время воздушные налеты арктического воздуха, особенно зимой и весной, приводят к резким изменениям погоды: в течение дня температура может изменяться от 10 до 15 градусов Цельсия, а атмосферное давление – от 20 до 30 ГПа.

Карелия относится к зоне повышенной влажности. Годовое количество осадков колеблется от 450 – 500 мм на севере и востоке до 600-700 мм на Западе и юго-западе (особенно на ветреных склонах). Основная часть посевных работ (60-70%) приходится на теплое время года (апрель – октябрь месяцев),

максимум – на июле – августе месяцы. Снежный покров обычно образуется на ноябрь месяц и исчезает на апрель месяц. Его продолжительность составляет 150 – 170 дней, в зависимости от региона.

Сеть водных путей в Карелии одна из самых густых в России: средняя плотность речной сети составляет 0.8 – 1.2 км/км², а в некоторых местах (например, в бассейне реки Шуя) она достигает 1.5 км/км². Для сравнения: в Архангельской области эта отметка составляет 0.4 – 0.6 км/км². Высокий уровень водонепроницаемости объясняется сочетанием факторов: чрезмерной влажностью (выпадает больше осадков, чем может испариться), особенностями рельефа (многие ледяные воронки образуют озера, в которые впадают реки) и низкой водопроницаемостью кристаллических пород вблизи поверхности (по этой причине большая часть осадков образует сток).

В республике известно более 27 000 рек, но большая часть из них представляет собой небольшие водоемы (менее 10 км), соединяющие озера. Общая протяженность реки с ее названием превышает 54 000 километров. Также в регионе присутствуют замкнутые бессточные бассейны (преимущественно небольшие озёра в северных районах), однако их площадь невелика.

Речная система Карелии формируется под влиянием климатических, геологических и морфологических условий. Многие реки действуют как водные пути между озерами, но не как самостоятельные водные пути с прилегающими непрерывным руслом. Это имеет два важных значения. Во-первых, озеро действует как естественный регулятор дренажа: оно собирает воду во время половодья, растягивает ее во времени, постепенно высвобождая ее в межень и сглаживая колебания уровня. В результате степень изменения уровня воды в системе озеро-река значительно ниже, чем в реке, у которых в бассейне нет озер. Во-вторых, тепловой режим озера влияет на процессы образования ледовых образований в воде: в реках, вытекающих из озера, лед формируется позже, разрушается медленнее и быстрее, чем в воде, не питавшем озеро.

Реки Карелии особенно полноводны из-за их питательных свойств: на талую воду приходится 50 – 70% годового стока. Насыщенные дождевые воды

обеспечивают 20 – 30% стока, а грунтовое – 10 – 20%. В то же время соотношение источников питания непостоянно и зависит от времени года и влажности. В многоводные годы доля снега может увеличиваться до 70 – 80%, в то время как в маловодные годы она может снижаться до 40 – 50% из-за увеличения вклада грунтовых вод.

2 Математический аппарат теории случайных выбросов

2.1 Методика расчета характеристик группировок минимального стока

Ряд значений минимального стока трактуется как случайная последовательность, для которой характерны иррегулярные колебания. Данные заданы дискретно.

Случайная последовательность $\{x_k\}$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) является стационарной. Что это значит? Любая m -мерная плотность распределения вероятности $p_x(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m})$ зависит только от взаимного расположения моментов времени $i_1, i_2, \dots, i_m$. И не меняется при сдвиге всех отсчетов на одинаковые интервалы τ . Это отразим следующим выражением:

$$p_x(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m}) = p_x(x_{i_1+\tau}, x_{i_2+\tau}, \dots, x_{i_m+\tau}) \quad (2.1)$$

Теперь о том, что считается выбросом. В i -й момент времени выброс снизу вверх за уровень a фиксируется, если выполняется условие:

$$x_{i-1} \leq a, \quad x_i > a, \quad (2.2)$$

Отрицательный выброс (сверху вниз) – если выполняется условия:

$$x_{i-1} \geq a, \quad x_i < a. \quad (2.3)$$

В этом случае значение a учитывается при расчете расхода воды в реке и не может полностью соответствовать промышленным и бытовым или другим требованиям, которые ниже этого значения (минимальный расход воды 30 дней, гарантия 80%). В этом случае количество выбросов сверху донизу и их

продолжительность указывают на то, как часто наблюдаются вмешательства в водоснабжение и как долго они продолжаются в интересующей точке, если эти показатели превышают допустимые, возникают дополнительные проблемы с источниками воды.

В этом исследовании были рассчитаны основные характеристики группировок, такие как средняя продолжительность и частота появления объекта.

Частота группировок – формула:

$$\nu = P\{X_0 \leq a, X_1 > a\}, \quad (2.4)$$

Здесь ν – частота.

А $P\{X_0 \leq a, X_1 > a\}$ находится по следующему равенству:

$$P\{X_0 \leq a, X_1 > a\} = \iint p_x(x_1, x_2) dx_2 dx_1, \quad (2.5)$$

В этой формуле $p_x(x_1, x_2)$ – двумерная плотность распределения смежных членов последовательности $\{X_k\}_{k=0}^{\infty}$.

Средняя длительность считается так. Для положительной группировки:

$$El^+ = P\{x_0 > a\} / P\{x_0 \leq a, x_1 > a\}, \quad (2.6)$$

$$El^+ = P\{x_0 > a\} / \nu. \quad (2.7)$$

Для отрицательной:

$$El^- = 1 - P\{x_0 > a\} / P\{x_0 \leq a, x_1 > a\}, \quad (2.8)$$

$$El^- = 1 - P\{x_0 > a\}/v, \quad (2.9)$$

Из приведенной формулы для расчета вероятностных характеристик группировки необходимо знать плотность совместного распределения вероятностей стоковых рядов в дополнение к плотности одномерного распределения вероятностей. Плотность многомерного распределения редко используется в гидрологической практике. Во-первых, объем теоретических исследований в области многомерного распределения все еще недостаточен. Во-вторых, небольшая длина гидрологических рядов не позволяет достоверно оценить плотность выборок многомерного распределения вероятности. Это было получено непосредственно из данных наблюдений [7].

Поэтому на практике ограничиваются одномерными распределениями, которых множество. И поэтому для всех рек Европейской территории России принят один тип – гамма-распределение.

Самое изученное многомерное распределение – нормальное. Его плотность равна:

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \det R}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (x_j - \bar{x})(x_k - \bar{x}) r^{jk} \right\}, \quad (2.10)$$

Здесь R – ковариационная матрица r^{jk} – элементы обратной матрицы R^{-1} .

Однако применение этого распределения к стоковым рядам возможно только в том случае, если асимметрия одномерного распределения мала, коэффициент вариации C_v мал, и поэтому вероятность достижения отрицательного значения незначительна. Для большинства рядов минимального 30-дневного стока одномерное распределение имеет значительную асимметрию, поэтому предположение о нормальности в отношении непосредственно наблюдаемых

данных является сильным упрощением, которое может привести к серьезным ошибкам в расчетах при определении характеристик кластеризации.

Специалист по гидрологии Румянцев Владислав Александрович предложил предварительную нормализацию исходного ряда $\{x_i\}$ [8].

Нормализованные значения Y_i получаются преобразованием. Оно широко применяется в методе Монте-Карло. Формула:

$$Y_i = \Phi^{-1}(F(x_i)), \quad (2.11).$$

Здесь $F(x_i)$ – одномерная функция распределения исходного ряда. Φ^{-1} – функция, обратная функции распределения стандартной нормальной величины $N(0; 1)$. Преобразование делается по таблицам математической статистики [9].

Ряд $\{Y_i\}$ взаимно однозначно соответствует исходному ряду $\{X_i\}$ и подчиняется закону $N(0; 1)$. Теперь берем величину b по условию:

$$b = \Phi^{-1}(F(a)), \quad (2.12).$$

Тогда каждой группировке $\{X_i\}$ относительно уровня a соответствует группировка $\{Y_i\}$ относительно уровня b . И все характеристики – число n , длительности ℓ^+ и ℓ^- , интервалы L – для обоих рядов совпадают.

Для нормально распределенной последовательности Румянцев составил таблицы. По ним определяют частоту $v = v(b, q)$ и среднюю продолжительность положительных группировок $E\ell^+ = E\ell^+(b, q)$.

Для отрицательных b используется соотношение:

$$v(b, q) = v(-b, q), \quad (2.13)$$

Здесь b – уровень, связанный с a преобразованием (2.12). q – коэффициент корреляции между смежными членами нормализованной последовательности $\{Y_i\}$.

Исходя из выше приведенных данных, расчет характеристик группировок включает несколько шагов:

- а) определить коэффициент вариации C_v исходного ряда;
- б) рассчитать коэффициент автокорреляции между смежными членами;
- в) нормализовать исходный ряд и найти q по таблицам [8];
- г) по таблицам [7] определить характеристики группировок – в зависимости от q и уровня, ниже которого считаются выбросы

2.2 Расчет характеристик группировок минимального стока

Как рассмотрено в главе 2.1 вход в таблицы – это уровень и связанный с заданным a преобразованием (и.12) и коэффициент корреляции q . Напомним: a – минимальный 30-суточный расход 80 %-ной обеспеченности.

Для того чтобы найти q , нужно знать коэффициенты вариации и корреляции смежных членов исходного ряда.

Внутрирядная связанность важный показатель, который рассматривают только между соседними членами. Для большинства элементов водного режима она быстро затухает при продолжительном сдвиге. Принимается, что затухание описывают моделью простой цепи Маркова. Мера связанности – это коэффициент автокорреляции с шагом равным единичному значению. Он вычисляется по формуле:

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(Q_i - \bar{Q}_1)(Q_{i+1} - \bar{Q}_2)]}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_2)^2}} \quad (2.14)$$

Здесь значение параметров:

$r(1)$ – искомый коэффициент;

Q_i и Q_{i+1} – расходы в текущий и следующий моменты;

$\bar{Q}_1 = \sum_{i=1}^{n-1} Q_i / (n-1)$; и $\bar{Q}_2 = \sum_{i=2}^{n-1} Q_i / (n-1)$; – средние значения;

i – шаг по времени.

Расчеты показали: коэффициент автокорреляции менялся в указанных пределах. Для летне-осеннего стока – от минус 0.18 до 0.46. Для зимнего – от -0.36 до 0.28. Но оценки по индивидуальным рядам оказались ненадежными; среднеквадратическая погрешность часто превышала само значение.

Для повышения надежности расчетов коэффициентов автокорреляции был использован групповой анализ. Была проведена совместная проверка водителей. Коэффициенты автокорреляции, рассчитанные на основе нескольких независимых частичных сумм, могут отличаться друг от друга. В этом случае выясните, взяты ли эти подмножества случайно из одной и той же генеральной совокупности или из одинаково связанной общей совокупности. Если эта проблема будет решена, можно будет найти общую оценку значения качества корреляции $\tilde{r}$ в общей совокупности.

Пусть по частным совокупностям из n_h пар ($h = \overline{1, k}$) вычислены r_h . Проверяем однородность. Предполагаем, что все выборки из нормальных совокупностей с одинаковыми коэффициентами корреляции. Применяем преобразование Фишера. Получаем z_h . Они имеют приближенно нормальное распределение с общим средним и дисперсией:

$$\sigma_{z_h}^2 = \frac{1}{n_h - 3}, \quad (2.15)$$

Оценка общего среднего z с наименьшей дисперсией – это взвешенное среднее. Веса обратно пропорциональны дисперсиям. Формула:

$$\bar{z} = \frac{\sum_h (n_h - 3) z_h}{\sum_h (n_h - 3)}. \quad (2.16)$$

По этой оценке, составляется сумма:

$$\sum_h (n_h - 3) (z_h - \bar{z})^2, \quad (2.17)$$

Она имеет χ^2 -распределение с $h - 1$ степенями свободы. Следовательно значимость проверяется по таблицам χ^2 [11].

Сумму (4.17) удобно представить в виде (4.18) на основании (4.16).

$$\begin{aligned} \sum_h (n_h - 3) (z_h - \bar{z})^2 &= \sum_h (n_h - 3) z_h^2 - \bar{z}^2 \sum_h (n_h - 3) = \\ &= \sum_h (n_h - 3) z_h^2 - \frac{\left[\sum_h (n_h - 3) z_h \right]^2}{\sum_h (n_h - 3)}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Если вычисленное значение не значимо как χ^2 с $h - 1$ степенями свободы тогда коэффициенты однородны. В данном случае значение z из формулы (4.16) это оценка для генеральной совокупности.

$$\tilde{r} = th \tilde{z}, \quad (2.19)$$

А $\tilde{r}$ находится по таблице [11].

Так и было сделано. По независимым частным совокупностям объема n_h нашли g_h . Проверили однородность. Получили оценку $\tilde{r}$ для общей совокупности.

Анализ однородности коэффициента $r(1)$ отдельных физико-географических районов со сходными условиями формирования стоков для рядов мини-

мального водопотребления (среднемесячных расходов воды) в СССР был проведен в [12]. Однако следует отметить, что, во-первых, условия формирования среднемесячного минимального водопотребления и минимального 30-дневного водопотребления несколько отличаются, а во-вторых, область, по которой усредняется коэффициент автокорреляции по [12], очень велика по площади. Как известно, формирование минимального стока зависит от факторов, которые существенно различаются в данной местности (например, распределение подземных вод, связанное с геологическим строением, почвой и рельефом). Поэтому в данном исследовании было проведено более детальное зонирование коэффициентов автокорреляции.

Полученные отрицательные значения не являются статистически значимыми, но налицо факт их территориальной группировки. Значения коэффициентов автокорреляции, полученные для них, указывают на то, что ряд минимальных стоков может не соответствовать ряду Маркова в этих регионах. Поэтому в таких районах метод прогнозирования минимальной стока в течение 30 дней по формуле FPC требует дополнительного обоснования.

Полученные оценки показывают, что для некоторых регионов характерны относительно низкие значения коэффициента автокорреляции, а для некоторых регионов - высокие. Их наибольшее значение при наименьшем летне-осеннем стоке ($>0,4$) наблюдается в бассейне реки Чивинка. Северные реки региона отличаются наименьшими значениями коэффициента автокорреляции летнего и осеннего стока. При наименьшем зимнем стоке наибольшим значением $r(1)$ характеризуются реки Волошба и Тихвинка. Наименьшее значение $r(1)$ минимального зимнего стока приходится на реку Ояти.

Область с отрицательным значением $R(1)$ охватывает водосборную зону реки Луга и ее притоков как для зимнего, так и для летне-осеннего стока. Очевидно, это можно объяснить особенностями формирования минимального стока, поскольку для данного бассейна характерно наличие карста.

Используя коэффициент вариации, рассчитанный на основе серии наблюдений, и средний положительный коэффициент корреляции для региона между соседними членами серии минимальных стоков, мы вычисляем характеристики группы, такие как частота и продолжительность.

3 Расчет характеристик группировок

3.1 Исходные данные

Основой для изучения закономерностей многолетних колебаний минимального 30-суточного стока рек, протекающих по территории Арктической зоны европейской части России, послужил анализ данных, полученных на государственной сети наблюдений. База данных формировалась на основе длительных рядов наблюдений, охватывающих период с момента открытия гидрологических постов. Предпочтение отдавалось тем постам, которые расположены на средних реках, сток которых не зарегулирован. Ряды наблюдений приводились к многолетнему периоду.

В качестве основной гидрологической характеристики минимального стока, рассматриваемой в данной работе, являлся минимальный 30-суточный сток за зимнюю и летне-осеннюю межень. Данные характеристики опубликованы до 1980 года включительно, за последующие годы расчет среднего за 30-суток стока осуществлялся по данным об ежедневных расходах воды.

На территории Арктического региона на Европейской части России было отобрано 24 гидрологических поста, список которых представлен в Приложении А. Размещение постов представлено на рисунке 3.1.

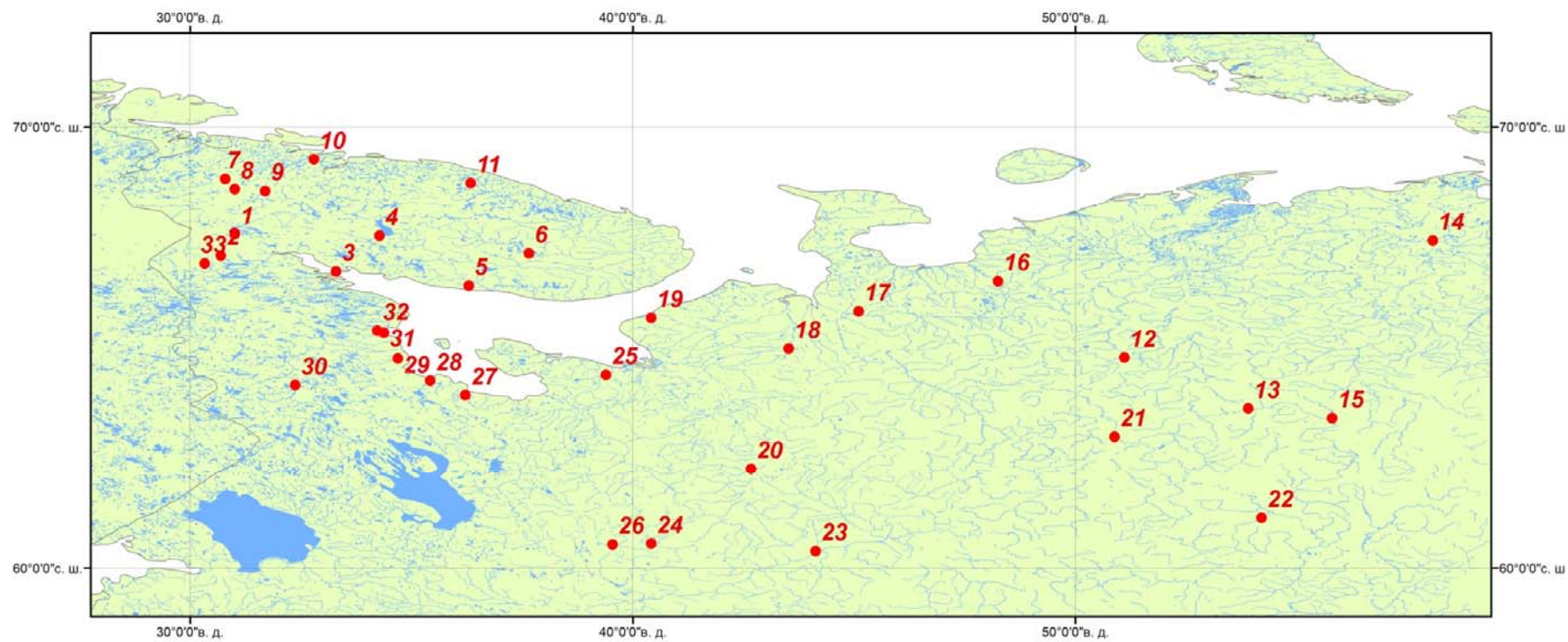


Рисунок 3.2 – Схема расположения постов

3.2 Оценка стационарности рядов минимального стока

Фундаментальным допущением, на котором базируются гидрологические расчёты и проектирование водохозяйственных систем, является гипотеза о стационарности рядов стока. Эта гипотеза предполагает временную неизменность вероятностных характеристик речного стока: считается, что распределение вероятностей остаётся постоянным как для ретроспективного периода наблюдений, так и для будущего периода. Вопросы стационарности минимального стока остаются недостаточно изученными, при этом именно этот элемент гидрологического режима наиболее чувствителен к антропогенному воздействию на водосборе.

В связи с этим на первом этапе выполнялся анализ однородности рядов стока (стационарности). Согласно нормативной литературе, в первую очередь проверяется гипотеза о стационарности средних значений и дисперсий рядов наблюдений. При этом рекомендуется проводить проверку по критериям Стьюдента и Фишера.

3.2.1 Параметрический критерий Стьюдента

При использовании данного критерия выдвигается гипотеза, что средние значения, рассчитанные по двум половинам исходного ряда, отличаются друг от друга статистически не значимо. Мерой значимости выступает t-статистика (критерий Стьюдента), которая рассчитывается по следующей формуле:

$$t = \frac{\bar{Q}_2 - \bar{Q}_1}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (3.1)$$

где $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2$ – значения средних расходов воды за первую и вторую половины ряда, соответственно, м³/с;

n_1, n_2 – объемы выборок;

σ_1, σ_2 – средние квадратические отклонения выборок.

Полученное значение сравнивается с критическим значением распределения Стьюдента.

3.2.2 Параметрические критерий Фишера

Критерий Фишера применяется для проверки гипотезы о равенстве дисперсий двух независимых выборок из нормально распределённых генеральных совокупностей. При нулевой гипотезе $H_0: S_x^2 = S_y^2$ отношение выборочных дисперсий подчиняется F-распределению с числами степеней свободы $v_1 = m - 1$ и $v_2 = n - 1$. Доверительная область для отношения дисперсий S_x^2/S_y^2 на уровне значимости 2α определяется как:

$$F_\alpha(v_1, v_2) \leq (S_x^2/S_y^2) < F_{1-\alpha}(v_1, v_2), \quad (3.2)$$

где v_1, v_2 – число степеней свободы для каждой части ряда соответственно;

S_x^2, S_y^2 – значение дисперсии для каждой части ряда соответственно.

Распределение Фишера несимметрично, и для того чтобы сократить объем таблиц, их составляют только для значений $F > 1$, а при сравнении S_x^2 и S_y^2 в числитель всегда подставляют большую дисперсию. В этом случае доверительная область при уровне значимости 2α определяется следующим выражением

$$1 \leq (S_x^2/S_y^2) < F_{1-\alpha}, \quad (3.3)$$

Для унификации расчётов в числитель отношения всегда подставляется большая из дисперсий. Характерной особенностью рядов минимального стока

является наличие статистически неоднородных величин (выбросов), обусловленных экстремальными условиями или погрешностями измерений. Параметрический критерий Фишера обладает высокой чувствительностью к таким аномалиям, что приводит к частому отклонению нулевой гипотезы об однородности дисперсий. Для корректного применения данного теста требуется предварительная идентификация и исключение нерепрезентативных членов ряда [5].

3.2.3 Непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова

В отличие от параметрических аналогов, критерий Колмогорова-Смирнова обладает рядом существенных преимуществ при анализе гидрологических рядов: он не требует априорных предположений о законе распределения сравниваемых выборок; не накладывает ограничений на равенство дисперсий при оценке однородности средних; использует всю полноту информации, содержащейся в эмпирических данных, так как сравнивает непосредственно функции распределения вероятностей.

3.2.4 Результаты оценки стационарности рядов минимального стока

Анализ однородности рядов минимального 30-суточного зимнего и летнего стока проводился по всем трём критериям на уровнях значимости $\alpha = 5\%$ и $\alpha = 10\%$. Результаты оценки систематизированы в Приложении Б. Для зимнего стока результаты распределились следующим образом:

- Критерий Стьюдента: неоднородность по среднему выявлена в 18% случаев (5% уровень) и в 39% случаев (10% уровень).
- Критерий Колмогорова-Смирнова: 15%(5%) и 18%(10%) неоднородных рядов.
- Критерий Фишера: 18%(5%) и 0%(10%) неоднородных рядов по дисперсии.
- Критерий Колмогорова-Смирнова (дисперсия): 6% на обоих уровнях значимости.

Для летнего стока показатели были следующими:

- Критерий Стьюдента: 3%(5%) и 21%(10%) неоднородных рядов по среднему.
- Критерий Колмогорова-Смирнова: 9%(5%) и 15%(10%).
- Критерий Фишера: 27%(5%) и 0%(10%) по дисперсии.
- Критерий Колмогорова-Смирнова (дисперсия): 3%(5%) и 6%(10%).

На основании результатов проверки на однородность данные по 5 постам за зимний период и по 2 постам за летний период были признаны нерепрезентативными вследствие нарушения условий стационарности и исключены из последующего анализа.

Результаты проверки сведены в таблицу 3.1 Анализ данных таблицы показывает, что минимальный летней-осенний сток менее подвержен изменениям (нарушению стационарности).

Таблица 3.1 – Результаты проверки стационарности в %.

Критерий	Среднее				Дисперсия		
	Стьюдент		Колмогоров-Смирнов		Фишер	Колмогоров-Смирнов	
Значимость	5%	10%	5%	10%	5%	5%	10%
Минимальный зимний 30 суточный сток	83	62	88	84	83	100	95
Минимальный летне-осенний 30-суточный сток	98	78	92	87	78	98	95

3.3 Расчет основных статистических характеристик

После проведения проверки по всем рядам как зимнего, так и летне-осеннего минимального 30-суточного стока, были проведены расчеты основных статистических характеристик. Рассчитывались следующие характеристики: средний многолетний минимальный расход воды ($\bar{Q}_{\min}$), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s), а также их стандартные ошибки. Средний многолетний расход определялся как среднее арифметическое членов ряда:

$$\bar{Q}_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}. \quad (3.4)$$

Коэффициент вариации, являющийся мерой изменчивости процесса во времени, вычислялся методом моментов:

$$Cv_{\min} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (3.5)$$

где k_i – модульный коэффициент.

Ряд считался репрезентативным, если средняя квадратическая ошибка рассчитанной нормы не превышала 15% [7]. Величина ошибки оценивалась по формуле:

$$\sigma_Q = \frac{Cv_{\min}}{\sqrt{n}} 100\%, \quad (3.6)$$

где σ_Q – средняя квадратическая ошибка рассчитанной нормы стока.

Аналогичные требования предъявлялись к определению коэффициента вариации: его средняя квадратическая ошибка (σ_{Cv}) не должна превышать 10

– 20 % в зависимости от величины самого коэффициента. Величина средней квадратической ошибки коэффициента вариации рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{Cv} = \frac{\sqrt{1+Cv^2}}{\sqrt{2n}}; \quad (3.7)$$

При $C_v > 0.50$ средняя квадратическая погрешность рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{Cv} = \frac{\sqrt{\frac{3}{3+Cv^2}}}{\sqrt{2n}}. \quad (3.8)$$

В связи с тем, что рассматривались только однородные ряды, все параметры считались по полному ряду.

3.4 Анализ автокорреляционной функции

Коэффициент автокорреляции первого порядка ($r(1)$) характеризует степень линейной зависимости между смежными членами временного ряда. Для всех створов были рассчитаны коэффициенты корреляции между смежными членами последовательностей

$$r_h = \frac{1}{n_h} \sum_{j=1}^{n_h-1} y(t_j) y(t_{j+1}), \quad (3.9)$$

где r — значение коэффициента корреляции;

h — номер пункта наблюдений;

n — число членов последовательности;

y — смежные члены последовательности.

Значение коэффициента корреляции между смежными членами для рассматриваемых рядов наблюдений менялись в широком диапазоне – от отрицательных до 0.65. В зимний период значения коэффициента более однородны. В зимний период чаще всего встречаются отрицательные значения коэффициента автокорреляции.

Ввиду ограниченной длительности индивидуальных рядов эмпирические оценки $r(1)$ обладают значительной погрешностью. Для повышения надёжности оценок может быть использован метод группового анализа, предполагающий объединение коэффициентов автокорреляции по районам со схожими физико-географическими условиями формирования стока. Анализ показал статистическую однородность совокупностей значений $r(1)$ для зимних расходов воды в исследуемом регионе. Для летне-осеннего периода групповой анализ был возможен лишь для локальных районов с положительными значениями автокорреляции.

Полученные отрицательные значения $r(1)$ за летний период статистически не значимы, однако имеет место факт их территориальной группировки. Полученные для них значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о том, что в этих областях ряды минимального стока могут не представлять собой марковскую последовательность.

Для расчета характеристик выбросов необходимо значение автокорреляционной функции исходного и нормализованного рядов первого порядка. При исследовании связи между случайными величинами может оказаться, что коэффициенты корреляции, вычисленные на основании нескольких независимых частичных совокупностей, отличаются между собой. В таких случаях необходимо выяснить, можно ли данные частные совокупности рассматривать как взятые наудачу из одной и той же нормальной общей совокупности или одинаково коррелированных общих совокупностей; и если это вопрос будет решен в положительном смысле, то найти комбинированную оценку значения коэффициента корреляции – $\tilde{r}$ – можно в общей совокупности.

Для получения обобщённой оценки коэффициента корреляции ($\tilde{r}$) в общей совокупности использовалось z-преобразование Фишера. Частные коэффициенты корреляции r_h , полученные для каждой группы постов, преобразовывались в статистики Z_h , имеющие приближённо нормальное распределение с дисперсией $\sigma_{Z_h}^2 = 1/(n_h - 3)$. Взвешенная оценка общего среднего значения $\tilde{Z}$ вычислялась как:

$$\tilde{Z} = \frac{\sum_h (n_h - 3) Z_h}{\sum_h (n_h - 3)}. \quad (3.10)$$

Проверка гипотезы об однородности частных оценок выполнялась с помощью критерия χ^2 . Если вычисленное значение суммы квадратов отклонений не превышало табличное значение χ^2 с $(h-1)$ степенями свободы, то различия между частными коэффициентами считались статистически незначимыми. Итоговый коэффициент корреляции $\tilde{r}$ находился обратным преобразованием из $\tilde{Z}$. В Приложении Г приведены обобщенные районные коэффициенты автокорреляции.

3.5 Расчет характеристик группировок

Заключительным этапом исследования являлся расчёт количественных характеристик группировок минимального стока – частоты появления и средней продолжительности периодов, когда расходы воды опускаются ниже заданных критических уровней обеспеченности (80% и 95%). Расчёты проводились двумя методами: эмпирическим (непосредственно по хронологическим графикам) и аналитическим с использованием аппарата теории случайных выбросов. Из-за недостаточной длины реализаций эмпирические оценки двумерных плотностей распределения ординат процесса оказывались ненадёжными. Для решения этой проблемы исходный нестационарный процесс $X(t)$ подвергался процедуре нормализации до процесса $Y(t)$, подчиняющегося стандартному нормальному закону распределения:

$$F(x(t)) = \Phi(y(t)), \quad (3.11)$$

где $F(x(t))$ – функция распределения вероятностей нормализованных значений

$\Phi(y(t))$ – эмпирическая функция распределения исходного процесса;

Это монотонное преобразование сохраняет ключевые характеристики выбросов: частоту их появления ($\bar{\nu}$) и среднюю продолжительность ($\bar{\tau}$). Расчёт ковариационной функции нормализованного процесса производился напрямую по его ординатам. Выбор уровней обеспеченности был обусловлен требованиями нормативной документации: уровень 80% используется как базовая характеристика низкого стока (СНиП 2.01.14-83), а уровень 95% – как предельный гарантированный расход (СН-346-66). Результаты расчётов показали следующее:

При данном способе нормализации между каждым пересечением процессом $X(t)$ уровня x_0 и процессом $Y(t)$ уровня y_0 всегда имеет место быть однозначное соответствие. Все положительные выбросы исходного процесса преобразуются в положительные выбросы нормализованного процесса, и наоборот, все отрицательные – в отрицательные выбросы.

Описанная методика была применена к характеристикам минимального 30-суточного зимнего и летне-осеннего стока. Сначала ряды были нормализованы, потом по ним вычислялись характеристики группировок в зависимости от r_h осредненного для каждого района и при уровнях значимости, соответствующих 80% и 95%-ой. Результаты расчетов представлены в Приложении Д.

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы, что для минимального зимнего 30-суточного стока средняя продолжительность группировок ниже уровня 80% обеспеченности составляет 1.4 года, такие явления встречаются 14 раз за 100 лет. Выбросы за уровень 95%-ой обеспеченности случаются 4 раза в 100 лет и продолжаются в среднем 1.1 года.

Для летне-осеннего стока: частота выхода за уровень 80%-обеспеченности составляет 16 раз в 100 лет, продолжительность – 1.3 года; за уровень 95%-обеспеченности – частота 5 раз в 100 лет, продолжительность 1.1 года.

Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы были всесторонне исследованы временные и пространственные закономерности распределения минимальных 30-суточных расходов воды рек Арктической зоны европейской части России. В ходе выполнения работы был реализован полный цикл обработки гидрологической информации: от формирования репрезентативной базы данных до верификации результатов расчётов. Были обработаны ряды ежедневных расходов воды с выделением сезонных минимумов; проведена их строгая статистическая проверка на репрезентативность и однородность; рассчитаны параметры внутрирядной связанности; определены эмпирические и теоретические характеристики низкостокowych группировок. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о существенной зависимости частоты появления критически низких расходов от задаваемого уровня водности. Проведённое исследование подтверждает актуальность оценки пространственно-временных колебаний речного стока в условиях возрастающего антропогенного пресса на экосистемы северных территорий России.

Список использованных источников

- 1 Шелутко, В.А. Статистические методы и методы исследования многолетних колебаний стока [Текст]/В.А. Шелутко-Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 160 с.
- 2 Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [Текст]/А.В. Сикан.— СПб.: изд. РГГМУ, 2007.
- 3 Дружинин, В.С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебное пособие [Текст]/В.С. Дружинин, А.В. Сикан.— СПб.:изд.РГГМУ,2001.-170 с.
- 4 Румянцев, В.А. Применение теории случайных выбросов к исследованию временных гидрологических рядов // Труды ГГИ.—1973.—Вып.211.—С.192-214.
- 6 Владимиров, А.М. Сток рек в маловодный период года [Текст]/ А.М. Владимиров. — Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 296 с.
- 7 Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений [Текст]/А.К. Митропольский. — М.: Наука, 1971. — 576 с.
- 8 Бернштейн, С.Н. Теория вероятностей [Текст] / С.Н. Бернштейн. — ОНТИ, 1974. — 556 с.
- 9 Алексеев, Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей [Текст]/ Г.А. Алексеев. — Л.: Гидрометеиздат, 1971.— 362 с.
- 10 Тихонов, В.И. Выбросы случайных процессов [Текст]/В.И. Тихонов. — М.: Наука, 1970. — 392 с.
- 11 Определение расчетных гидрологических характеристик. — М.: Стройиздат,1983.—48 с.
- 12 СН 346-66. Указания по определению расчетных минимальных расходов воды при строительном проектировании. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.— 17 с.

13 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Том 1. РСФСР. Выпуск 6. Бассейны рек Кольского полуострова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986.

14 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Том 1. РСФСР. Выпуск 7. Бассейны рек западного побережья Белого моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.

15 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Том 1. РСФСР. Выпуск 8. Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени. – Л.: Гидрометеиздат, 1986.

16 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Том 1. РСФСР. Выпуск 9. Бассейн Печоры. – Л.: Гидрометеиздат, 1986.

17 Румянцев, В.А. Пространственно-временные закономерности колебаний стока рек Евразии [Текст]/ В.А. Румянцев, И.В. Бовыкин. – Л.: Наука, 1985. – 148 с.

Приложение А. Сведения по гидрологическим постам

№ поста	Код поста	Река – Пост	Площадь водосбора, км ²	Минимальный зимний 30-суточный сток		Минимальный летний 30-суточный сток	
				Период наблюдений	п, лет	Период наблюдений	п, лет
1	71241	Ена – Ена	1620	1936-1994	59	1935-1994	60
2	71222	Колвиза - Колвиза	1260	1962-1994	33	1962-1994	33
3	71199	Умба – Паялка	6920	1935-1994	60	1932-1994	63
4	71193	Умба - Исток	2380	1935-1994	60	1935-1994	60
5	71186	Варзуга – Варзуга	7940	1936-1994	59	1935-1994	60
6	71168	Поной – Каневка	10200	1945-1994	50	1945-1994	50
7	71104	Кола – 1429 км Окт. ж/д	3780	1936-1994	59	1928-1994	67
8	71085	Лотта – Каллокоски	2540	1960-1994	35	1960-1994	35
9	71067	Печа – Падун	1600	1948-1994	44	1948-1994	47
10	71044	Ура – Ура-Губа	1020	1945-1994	50	1935-1994	60
11	71035	Титовка – 15 км от устья	942	1954-1994	41	1954-1994	41

Продолжение Приложения А

№ поста	Код поста	Река - Пост	Площадь водосбора, км ²	Минимальный зимний 30-суточный сток		Минимальный летний 30-суточный сток	
				Период наблюдения	п, лет	Период наблюдений	п, лет
12	70530	Пижма – Левкинская	2250	1958-1989	32	1958-1993	36
13	70499	Колва – Хорей-Вер	5470	1959-1989	31	1959-1993	35
14	70403	Пеша – Волоковая	2780	1966-1993	28	1966-1993	28
15	70401	Пеза – Игумново	12000	1933-1993	61	1933-1993	61
16	70366	Кулой – Кулой	3040	1937-1993	57	1937-1993	57
17	70363	Золотица – Верхняя Золотица	1540	1957-1993	36	1957-1993	37
18	70047	Содза – Сухие Пороги	1190	1929-1993	63	1928-1993	66
19	49125	Нюхча - Нюхча	1350	1956-1994	38	1953-1994	41
20	49123	Сума – Сумский Посад	1990	1934-1994	60	1926-1994	68
21	49070	Шуя – Шуерецкое	934	1945-1994	50	1935-1994	60

Продолжение Приложения А

№ поста	Код поста	Река – Пост	Площадь водосбора, км ²	Минимальный зимний 30-суточный сток		Минимальный летний 30-суточный сток	
				Период наблюдений	п, лет	Период наблюдений	п, лет
22	49031	Поньгома - Поньгома	1220	1960-1994	35	1960-1994	32
23	49030	Кузема – Кузема	882	1957-1994	37	1957-1994	36
24	49017	Тумча - Алакуртти	2100	1959-1994	34	1959-1994	34

Приложение Б. Результаты оценки однородности рядов минимального 30-суточного стока

Код поста	Минимальный 30-суточный зимний сток													
	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
71241	1.68	+	0.88	+	1.68	+	0.88	+	0.58	+	1.04	+	0.58	+
71222	1.85	+	0.92	+	1.85	-	0.92	+	0.56	+	1.16	+	0.56	+
71199	0.67	+	0.53	+	0.67	+	0.53	+	0.55	+	1.39	+	0.55	+
71193	1.78	+	1.08	+	1.78	-	1.08	+	0.6	+	1.65	+	0.6	+
71186	4.69	-	1.9	-	4.69	-	1.9	-	0.68	+	1.81	+	0.68	+
71168	1.39	+	0.89	+	1.39	+	0.89	+	0.41	+	1.36	+	0.41	+
71104	4.32	-	1.62	-	4.32	-	1.62	-	0.51	+	1.44	+	0.51	+
71085	0.95	+	0.45	+	0.95	+	0.45	+	0.4	+	1.48	+	0.4	+
71067	3.81	-	1.59	-	3.81	-	1.59	-	0.67	+	1.09	+	0.67	+

Продолжение Приложения Б

Код поста	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
71044	0.92	+	0.63	+	0.92	+	0.63	+	0.31	+	1.08	+	0.31	+
71035	1.35	+	0.77	+	1.35	+	1.77	+	0.91	+	1.64	+	0.91	+
70530	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.32	+	1.36	+	1.22	+
70499	2.18	-	1.36	-	1.78	-	1.22	-	2.53	-	1.36	+	1.22	+
70403	2.14	+	1.36	+	1.76	+	1.22	+	2.46	+	1.36	+	1.22	+
70401	2.04	+	1.36	+	1.7	-	1.22	+	1.83	+	1.36	+	1.22	+
70366	2.05	+	1.36	+	1.7	-	1.22	-	1.89	-	1.36	+	1.22	-
70363	2.1	+	1.36	+	1.73	+	1.22	+	2.22	+	1.36	+	1.22	+

Продолжение Приложения Б

Код поста	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
70047	1.96	+	1.36	+	1.64	-	1.22	+	1.82	-	1.36	+	1.22	+
49125	2.1	+	1.36	+	1.73	+	1.22	+	2.16	+	1.36	+	1.22	+
49123	2.06	+	1.36	+	1.71	+	1.22	+	1.83	+	1.36	+	1.22	+
49070	2.05	+	1.36	+	1.7	+	1.22	+	1.86	+	1.36	+	1.22	+
49031	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.25	+	1.36	+	1.22	+
49030	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.2	+	1.36	+	1.22	+
49017	2.12	+	1.36	+	1.75	-	1.22	+	2.28	+	1.36	+	1.22	+
	Минимальный 30-суточный летний сток													
71241	1.73	+	0.89	+	1.73	-	0.89	+	0.28	+	1.13	+	0.28	+
71222	0.32	+	0.52	+	0.32	+	0.52	+	0.34	+	1.4	+	0.34	+

Продолжение Приложения Б

Код поста	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
71199	1.78	+	1.13	+	1.78	-	1.13	+	0.47	+	1.13	+	0.47	+
71193	0.89	+	0.83	+	0.89	+	0.83	+	0.61	+	1.33	+	0.61	+
71186	1.8	+	0.99	+	1.8	-	0.99	+	0.64	+	1.56	+	0.64	+
71168	0.51	+	0.56	+	0.51	+	0.56	+	0.54	+	2.17	+	0.54	+
71104	1.68	+	1.45	-	1.68	-	1.45	-	0.64	+	1.3	+	0.64	+
71085	1.38	+	0.83	+	1.38	+	0.83	+	0.28	+	1.48	+	0.28	+
71067	0.89	+	0.64	+	0.89	+	0.64	+	0.31	+	1.07	+	0.31	+
71044	1.81	+	0.88	+	1.81	-	0.88	+	0.56	+	1.66	+	0.56	+
71035	1.17	+	0.69	+	1.17	+	0.69	+	0.34	+	1.03	+	0.34	+
70530	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.32	+	1.36	+	1.22	+

Продолжение Приложения Б

Код поста	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
70499	2.14	+	1.36	+	1.76	+	1.22	+	2.39	+	1.36	+	1.22	+
70403	2.14	+	1.36	+	1.76	+	1.22	+	2.43	+	1.36	+	1.22	+
70401	1.96	+	1.36	+	1.64	+	1.22	+	1.82	+	1.36	+	1.22	+
70366	2.06	+	1.36	+	1.71	+	1.22	+	1.9	+	1.36	+	1.22	+
70363	2.1	+	1.36	+	1.73	+	1.22	+	2.19	+	1.36	+	1.22	+
70047	1.96	+	1.36	+	1.64	+	1.22	+	1.8	+	1.36	+	1.22	+
49125	2.09	+	1.36	+	1.73	+	1.22	+	2.09	+	1.36	+	1.22	+
49123	2.05	+	1.36	+	1.7	+	1.22	+	1.82	+	1.36	+	1.22	+
49070	2.05	+	1.36	+	1.7	+	1.22	+	1.85	-	1.36	+	1.22	+
49031	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.25	-	1.36	+	1.22	+

Продолжение Приложения Б

Код поста	Среднее								Дисперсия					
	5%				10%				5%				10%	
	Стьюдента		Колм-Смирнова		Стьюдента		Колм-Смирнова		Колм-Смирнова		Фишера		Колм-Смирнова	
	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.	t	одн.
49030	2.12	+	1.36	+	1.75	+	1.22	+	2.2	-	1.36	+	1.22	+
49017	2.1	+	1.36	+	1.73	+	1.22	+	2.22	+	1.36	+	1.22	+

Приложение В. Статистические характеристики стока

Код поста	п, лет	$\bar{Q}$, м³/с	σ_Q , %	Cv	σ_{Cv} , %	Cs/Cv	Cs/Cv (прив)	Q_{80} , м³/с	Q_{95} , м³/с	Y, л/с км²
Минимальный 30-суточный зимний сток										
71241	59	7.79	2	0.12	22	-3.96	0	6.99	6.22	4.8
71222	33	6	4	0.2	10	1.56	2	4.97	4.15	4.8
71199	60	26.6	3	0.2	9	-1.03	0	22.2	18	3.8
71193	60	16.81	3	0.19	12	-3.25	0	14.1	11.4	7.1
71186	59	15.51	4	0.21	8	-1.46	0	12.7	10.1	2.0
71168	50	17.56	4	0.22	9	2.09	2	14.2	11.5	1.7
71104	59	8.93	7	0.28	4	1.65	2	6.8	5.15	2.4
71085	35	7.9	3	0.17	14	1.23	1	6.77	5.76	3.1
71067	44	3.61	4	0.21	—	0.4	0	2.96	2.35	2.3
71044	49	3.89	5	0.21	12	2.76	3	3.18	2.67	3.8
71035	41	2.35	3	0.21	10	-1.69	0	1.94	1.54	2.5

Продолжение Приложения В

Код поста	п, лет	$\bar{Q}$, м³/с	σ_Q , %	Cv	σ_{Cv} , %	Cs/Cv	Cs/Cv (прив)	Q_{80} , м³/с	Q_{95} , м³/с	Y, л/с км²
70530	32	6.9	3	0.11	—	4.32	4	6.23	5.69	3.1
70499	31	0.27	33	1.02	36	1.69	2	0.06	0.012	0.00
70403	28	3.9	4	0.22	—	0.13	0	3.16	2.47	1.4
70401	61	18.9	4	0.27	—	5.47	5	14.6	12.6	1.6
70366	57	16.9	2	0.12	18	-2.39	0	15.2	13.5	5.6
70363	36	4.73	3	0.15	19	2.37	2	4.13	3.62	2.6
70047	63	2.26	9	0.45	7	2.35	2	1.39	0.85	1.9
49125	38	1.98	8	0.44	9	1.12	1	1.23	0.64	1.5
49123	60	7.32	5	0.3	—	0.33	0	5.47	3.7	3.7
49070	50	1.33	7	0.46	9	3.09	3	0.81	0.57	1.4
49031	35	2.66	6	0.3	—	-0.11	0	1.99	1.35	2.2
49030	37	1.86	7	0.4	17	0.25	0	1.24	0.64	2.1

Продолжение Приложения В

Код поста	п, лет	$\bar{Q}$, м³/с	σ_Q , %	Cv	σ_{Cv} , %	Cs/Cv	Cs/Cv (прив)	Q_{80} , м³/с	Q_{95} , м³/с	Y, л/с км²
49017	34	7.99	6	0.29	—	-0.68	0	6.04	4.18	3.8
Минимальный 30-суточный летний сток										
71241	60	17.57	4	0.28	4	3.27	3	13.4	10.8	10.8
71222	33	13.68	5	0.28	4	1.41	1	10.4	7.59	10.9
71199	63	78.2	4	0.32	16	2.42	2	57.1	41.8	11.3
71193	60	44.5	4	0.27	5	1.98	2	34.3	26.4	18.7
71186	60	37.4	5	0.37	12	3.75	4	25.7	20.5	4.7
71168	50	93.4	6	0.41	—	5.6	6	65.2	59.7	9.2
71104	67	27.9	5	0.42	9	2.99	3	18.2	13	7.4
71085	35	27.6	9	0.38	15	2.84	3	18.4	13.6	10.9
71067	47	14.81	7	0.38	15	2.24	2	10	6.68	9.3
71044	60	9.19	5	0.37	11	2.16	2	6.27	4.23	9.0

Продолжение Приложения В

Код поста	п, лет	$\bar{Q}$, м³/с	σ_Q , %	Cv	σ_{Cv} , %	Cs/Cv	Cs/Cv (прив)	Q_{80} , м³/с	Q_{95} , м³/с	Y, л/с км²
71035	41	8.24	8	0.42	11	1.36	1	5.28	2.91	8.7
70530	36	12.5	5	0.22	11	3.64	4	10.1	8.6	5.6
70499	35	24.14	13	0.64	10	1.18	1	11	1.52	4.4
70403	28	11.23	12	0.47	7	2.65	3	6.77	4.77	4.0
70401	61	49.8	6	0.45	7	3.57	4	31.5	25.5	4.2
70366	57	25.1	3	0.2	9	2.69	3	20.8	17.7	8.3
70363	37	8.1	9	0.49	8	2.98	3	4.73	3.23	4.4
70302	55	6.88	6	0.43	8	3.81	4	4.45	3.58	3.1
70047	66	4.31	8	0.65	10	2.32	2	1.98	0.95	3.6
49125	41	4.2	13	0.82	13	1.37	1	0.92	0.13	3.1
49123	68	14.83	6	0.5	4	2.32	2	8.56	4.7	7.5
49070	60	3.34	11	0.78	—	4.39	4	1.64	1.52	3.6

Продолжение Приложения В

Код поста	п, лет	$\bar{Q}$, м³/с	σ_Q , %	Cv	σ_{Cv} , %	Cs/Cv	Cs/Cv (прив)	Q_{80} , м³/с	Q_{95} , м³/с	Y, л/с км²
49031	32	6.16	15	0.77	19	2.94	3	2.47	1.85	5.0
49030	36	4.63	13	0.73	20	2.67	3	2	1.35	5.2
49017	34	22.9	7	0.31	—	5.27	5	16.9	14.5	10.9

Приложение Г. Оценка коэффициента автокорреляции

№ поста	Код поста	n	r_h	Z_h	n-3	(n-3)Zh	Zh^2(n-3)
Минимальный 30-суточный зимний сток							
Первая группа							
1	71241	59	-0.03	—	56	—	—
2	71222	33	0.018	0.018	30	0.54	0.01
33	49017	34	0.469	0.509	31	15.77	8.03
Σ	—	126	—	—	117	16.31	8.04
$\chi^2 = 5.76$			$\tilde{Z} = 0.139$		$r = 0.14$		
Вторая группа							
4	71193	60	0.178	0.180	57	10.26	1.85
6	71168	50	0.176	0.178	47	8.36	1.49
Σ	—	110	—	—	104	18.62	3.33
$\chi^2 = 0.0001$			$\tilde{Z} = 0.179$		$r = 0.177$		
Третья группа							
7	71104	59	0.566	0.642	56	35.93	23.05
9	71067	44	0.309	0.319	41	13.10	4.19
Σ	—	103	—	—	97	49.03	27.24
$\chi^2 = 4.24$			$\tilde{Z} = 0.438$		$r = 0.466$		
Четвертая группа							
10	71044	49	0.282	0.288	46	13.24	3.81
11	71035	41	0.164	0.166	38	6.29	1.04
Σ	—	90	—	—	84	19.53	4.85
$\chi^2 = 0.312$			$\tilde{Z} = 0.233$		$r = 0.23$		

Продолжение Приложения Г

№ поста	Код поста	n	r_h	Z_h	n-3	(n-3)Zh	Zh^2(n-3)
Пятая группа							
12	70530	32	0.191	0.193	29	5.61	1.08
16	70403	28	0.074	0.074	25	1.85	0.14
17	70401	61	0.333	0.346	58	20.08	6.95
Σ	—	244	—	—	226	56.90	18.39
$\chi^2 = 5.95$			$\tilde{Z} = 0.282$		$r = 0.247$		
Шестая группа							
18	70366	57	0.278	0.286	54	15.42	4.40
25	70047	63	0.648	0.772	60	46.31	35.75
Σ	—	312	—	—	294	108.77	54.42
$\chi^2 = 14.18$			$\tilde{Z} = 0.370$		$r = 0.35$		
Седьмая группа							
27	49125	38	0.105	0.1054	35	3.69	0.389
28	49123	60	0.225	0.22895	57	13.05	2.988
29	49070	50	0.115	0.11555	47	5.43	0.628
31	49031	35	0.057	0.0571	32	1.83	0.104
32	49030	37	-0.003	—	34	—	—
Σ	—	255	—	—	237	25.60	4.189
$\chi^2 = 1.424$			$\tilde{Z} = 0.108$		$r = 0.11$		

Продолжение Приложения Г

№ по- ста	Код поста	n	r_h	Z_h	n-3	(n-3)Zh	Zh^2(n- 3)
Минимальный 30-суточный летний сток							
Четвертая группа							
10	71044	60	0.074	0.074	57	4.23	0.31
11	71035	41	0.071	0.071	38	2.70	0.19
Σ	—	101	—	—	95	6.93	0.51
$\chi^2 = 0.0002$			$\tilde{Z} = 0.073$		$r = 0.073$		
Шестая группа							
18	70366	57	0.116	0.117	54	6.29	0.73
25	70047	66	0.07	0.070	63	4.42	0.31
Σ	—	313	—	—	295	20.49	1.76
$\chi^2 = 0.337$			$\tilde{Z} = 0.0694$		$r = 0.07$		

Приложение Д. Основные характеристики группировок стока

Код поста	$Q_{80\%}$						$Q_{95\%}$					
	v ЭМП	v аналит	Δ	θ ЭМП	θ аналит	Δ	v ЭМП	v аналит	Δ	θ ЭМП	θ аналит	Δ
Минимальный 30-суточный зимний сток												
71241	0.15	0.147727	1.53	1.11	1.354531	17.8	0.07	0.045731	42.3	1	1.097189	8.27
71222	0.21	0.147796	29.6	1.29	1.353921	4.44	0.06	0.045742	25	1	1.096925	7.62
71199	0.17	0.137496	19.2	1.50	1.455542	2.67	0.03	0.043762	31.8	1	1.146414	15.3
71193	0.15	0.145253	3.13	1.44	1.377869	4.86	0.08	0.045278	49.2	1	1.108163	9.09
71168	0.20	0.145294	27.4	1.10	1.377487	20.3	0.02	0.045286	56.2	1	1.107983	9.06
71104	0.10	0.117192	14.7	1.50	1.707935	11.8	0.05	0.039045	20	1.3	1.284765	1.54
71037	0.09	0.116957	23.1	1.75	1.711454	2.28	0.04	0.038984	10	1	1.286810	21.9
71044	0.12	0.140731	14.9	1.33	1.422172	6.34	0.02	0.044414	51	1	1.129653	13.2
71035	0.12	0.140731	14.9	1.20	1.422172	15.5	0.05	0.044414	12	1	1.129653	13.2
70530	0.19	0.138863	26.9	1.33	1.440993	7.64	0.03	0.044046	36.2	1	1.138976	13.8

Продолжение Приложения Е

Код поста	Q 80%						Q 95%					
	ν ЭМП	ν аналит	Δ	θ ЭМП	θ аналит	Δ	ν ЭМП	ν аналит	Δ	θ ЭМП	θ аналит	Δ
70403	0.11	0.139031	21.4	1.33	1.439304	7.64	0.07	0.044079	42.9	1	1.138139	12.3
70401	0.10	0.139145	28.6	1.17	1.438159	18.75	0.03	0.044101	25	1	1.137572	12.4
70366	0.12	0.128478	1.2	1.71	1.557514	8.77	0.05	0.041795	12.4	1	1.200204	16.7
70363	0.16	0.176424	9.09	1.17	1.134528	3.42	0.05	0.049421	4.26	1	1.015588	1.96
70238	0.16	0.138918	13.1	1.11	1.440446	22.9	0.09	0.044056	55.6	1	1.138705	12.6
70047	0.14	0.129524	7.14	1.11	1.544998	27.9	0.03	0.042033	28.6	1	1.193434	16.1
49125	0.13	0.151609	17.6	1.60	1.319903	17.5	0.03	0.046369	34.8	1	1.082181	7.4
49123	0.15	0.151360	0.4	1.67	1.322125	20.96	0.02	0.046328	56.5	1	1.083144	7.4
49070	0.12	0.151645	20	1.17	1.319585	11.4	0.06	0.046375	23.3	1	1.082043	7.4

Продолжение Приложения Е

Код поста	Q 80%						Q 95%					
	υ эмп	υ аналит	Δ	Θ эмп	Θ аналит	Δ	υ эмп	υ аналит	Δ	Θ эмп	Θ аналит	Δ
49031	0.17	0.151360	11.8	1.17	1.322125	11.36	0.03	0.046328	34.8	1	1.083144	7.4
49030	0.16	0.151538	6.25	1.33	1.320537	1.05	0.03	0.046357	34.8	1	1.082456	7.4
49017	0.11	0.147911	26.7	2.00	1.352898	32.5	0.06	0.045761	23.3	1	1.096481	9.1
Минимальный 30-суточный летний сток												
71241	0.15	0.153631	1	1.22	1.302713	6.15	0.03	0.046701	36	1	1.074545	6.54
71222	0.12	0.164720	25	1.25	1.215006	2.4	0.06	0.048267	23.5	1	1.039786	3.84
71199	0.13	0.154316	13.3	1.63	1.296932	20.2	0.02	0.046813	57.4	1	1.071967	6.54
71193	0.15	0.163621	6.25	1.56	1.223081	21.8	0.02	0.048136	57.3	1	1.042592	3.84
71186	0.10	0.165434	39.4	1.33	1.209803	9.02	0.07	0.048351	31.4	1	1.038010	3.82
71168	0.12	0.169719	29.4	1.17	1.179284	0.2	0.10	0.048822	51	1	1.028063	2.91
71085	0.17	0.152237	11.8	1.00	1.314485	23.7	0.06	0.046472	23.3	1	1.079793	7.4
71067	0.19	0.174904	7.89	1.11	1.144305	2.63	0.04	0.049304	1.5	1	1.017855	2.17

Продолжение Приложения Е

Код поста	Q 80%						Q 95%					
	υ эмп	υ аналит	Δ	Θ эмп	Θ аналит	Δ	υ эмп	υ аналит	Δ	Θ эмп	Θ аналит	Δ
71044	0.18	0.154296	14.4	1.09	1.297104	15.5	0.03	0.046810	36.1	1	1.072044	6.54
71035	0.20	0.154356	25	1.00	1.296594	23.07	0.02	0.046819	57.4	1	1.071816	6.53
70530	0.17	0.173990	0.43	1.17	1.150326	1.7	0.00	0.049226	100	0	1.019473	100
70509	0.03	0.162048	81.3	1.50	1.235071	18	0.00	0.047931	100	0	1.047046	100
70499	0.17	0.173209	0.61	1.17	1.155548	0.9	0.00	0.049155	100	0	1.020986	100
70452	0.20	0.176610	10	1.14	1.107744	2.63	0.03	0.039206	23.1	1	1.005195	0.03
70403	0.18	0.152579	16.6	1.40	1.311597	6.42	0.00	0.046528	100	0	1.078505	100
70401	0.08	0.170185	52.9	1.60	1.176039	26.3	0.05	0.048870	2	1.33	1.027056	22.8
70366	0.11	0.154479	26.6	1.50	1.295563	13.3	0.05	0.046839	6	1	1.071357	6.54
70363	0.08	0.163687	50	1.00	1.222576	18.03	0.00	0.048145	100	0	1.042405	100
70238	0.09	0.160512	43.8	1.60	1.246790	22.5	0.09	0.047731	46.7	1	1.051399	4.76
70209	0.12	0.124392	0.5	1.50	1.608745	6.83	0.00	0.040833	100	0	1.228428	100

Продолжение Приложения Е

Код поста	Q 80%						Q 95%					
	ν эмп	ν аналит	Δ	θ эмп	θ аналит	Δ	ν эмп	ν аналит	Δ	θ эмп	θ аналит	Δ
70047	0.12	0.129658	1.32	1.25	1.543443	18.8	0.00	0.042063	100	0	1.192604	100
49125	0.05	0.163047	68.8	1.00	1.227454	18.7	0.00	0.048061	100	0	1.044216	100
49123	0.10	0.159909	37.5	2.00	1.251415	37.5	0.00	0.047651	100	0	1.053133	100
49070	0.13	0.168285	23.5	1.25	1.189280	4.8	0.12	0.048674	59.2	1.29	1.031164	20.2
49031	0.20	0.166842	15	1.00	1.199555	16.6	0.06	0.048515	16.7	1	1.034512	3.28
49030	0.19	0.169167	11.05	1.14	1.183133	3.39	0.08	0.048765	38.8	1	1.029257	2.91
49017	0.17	0.165137	2.94	1.33	1.211968	9.02	0.06	0.048316	20	1	1.038749	3.75