МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Водный режим реки Теча в современных климатических условиях (Южный Урал)**

Исполнитель Иванов Алексей Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.ф.-м.н. доцент
(ученая степень, ученое звание)
Волкова Надежда Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)
к.г.н, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«01» июня 2026 г.

Санкт–Петербург
2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА 7
1.1 Географическое положение и гидрографическая характеристика бассейна 7
1.2 Геологическое строение, рельеф, почвы и растительность 8
1.3 Климатические условия Южного Урала 9
1.4 Водный режим реки и антропогенная трансформация 10
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 11
2.1 Исходные данные наблюдений 11
2.2 Нормативная и учебно-методическая база 11
2.3 Расчетные формулы и статистические показатели 12
2.4 Разностные интегральные кривые и сравнение периодов 13
3 КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ИХ СВЯЗЬ СО СТОКОМ 15
3.1 Температура воздуха 15
3.2 Атмосферные осадки 17
3.3 Связь климатических факторов и стока 19
3.4 Ограничения климатической интерпретации 21
4 АНАЛИЗ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ТЕЧА 23
4.1 Статистические характеристики среднегодовых расходов 23
4.2 Обеспеченность и межгодовая изменчивость 24
4.3 Разностные интегральные кривые 27
4.4 Сравнение базового и современного периодов 28
4.5 Изменения годового стока 29
5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА 30
5.1 Среднемесячные расходы воды по посту Муслюмово 30

5.2 Среднемесячные расходы воды по посту Першинское 32
5.3 Статистическая проверка изменения распределения 35
5.4 Гидрологическая интерпретация сезонных изменений 38
5.5 Практическое значение результатов и рекомендации 39
5.6 Научно-методическое обоснование полученных результатов 40
5.7 Достоверность результатов и ограничения исследования 42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 46

ВВЕДЕНИЕ

Водный режим реки формируется в результате совместного действия климатических, геолого-геоморфологических, почвенно-растительных и антропогенных факторов. Для малых и средних рек Южного Урала это взаимодействие особенно заметно: годовой сток во многом определяется зимним накоплением снега, скоростью весеннего снеготаяния, летними ливневыми осадками и условиями подземного питания. Поэтому даже относительно небольшие изменения температуры воздуха и режима осадков способны изменить сезонное распределение расходов воды.

Река Теча занимает особое место среди водных объектов Южного Урала. С одной стороны, по типу питания и сезонной структуре она относится к рекам с преобладанием снегового стока и выраженным весенним половодьем. С другой стороны, ее современный режим осложнен длительным хозяйственным воздействием, наличием регулирующих водоемов и техногенной трансформацией верхней части бассейна. В связи с этим анализ только климатических факторов без учета особенностей антропогенного регулирования был бы недостаточным.

Актуальность темы определяется тем, что в последние десятилетия для внутриконтинентальных районов России характерны изменения термического режима, перераспределение осадков по сезонам и рост повторяемости аномальных гидрометеорологических ситуаций. Для бассейна реки Теча эти процессы могут проявляться в изменении величины весеннего половодья, увеличении роли зимне-осеннего стока, сокращении контрастности между многоводным и меженным периодами, а также в изменении частоты маловодных лет.

Практическое значение исследования связано с необходимостью оценки современного состояния водных ресурсов, уточнения характеристик стока и учета возможной трансформации водного режима при водохозяйственном планировании. Результаты анализа могут использоваться при оценке

устойчивости водопользования, интерпретации многолетних наблюдений и обосновании дальнейших гидрологических исследований в бассейне Течи.

Объектом исследования является река Теча как водный объект бассейна Исети. Предмет исследования – многолетняя и внутригодовая изменчивость стока реки Теча в современных климатических условиях Южного Урала.

Цель выпускной квалификационной работы состоит в выявлении особенностей водного режима реки Теча и оценке его изменений на основе гидрологических и метеорологических рядов наблюдений.

Для достижения цели решались следующие задачи: дать физико-географическую характеристику бассейна реки Теча; рассмотреть климатические условия Южного Урала как фактор формирования стока; систематизировать исходные гидрологические и метеорологические данные; рассчитать основные статистические характеристики годового стока; проанализировать разностные интегральные кривые; оценить внутригодовое распределение стока; сопоставить базовый и современный периоды; интерпретировать полученные результаты с учетом природных и антропогенных факторов.

Информационной базой работы служат ряды среднегодовых и среднемесячных расходов воды по гидрологическим постам Муслюмово и Першинское, годовые и месячные данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам на метеостанциях Аргаяш и Бродокалмак, а также расчетные таблицы и графические материалы, подготовленные в ходе исследования.

Методическая основа включает положения инженерной гидрологии и статистической обработки гидрометеорологической информации. При выполнении расчетов использованы учебные пособия по гидрологическим расчетам РГГМУ, СП 33-101-2003, СП 529.1325800.2023 и методических рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик. Для проверки различий между периодами применялись непараметрические статистические критерии и элементы круговой статистики.

Научная новизна работы заключается в том, что водный режим реки Теча рассмотрен не только по традиционным характеристикам годового и месячного стока, но и через изменение формы внутригодового распределения. Такой подход позволяет показать, что современная трансформация режима выражается не только в изменении средних величин, но и в перераспределении стока между сезонами.

Структура работы включает введение, пять основных разделов, заключение, список использованной литературы и приложения. В основной части приведены характеристика района исследования, методика обработки данных, анализ годового стока, климатических факторов и внутригодового распределения расходов воды.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА

1.1 Географическое положение и гидрографическая характеристика бассейна

Для целей данной работы бассейн Течи рассматривается как территориальная система, где гидрологический режим определяется не только площадью водосбора и морфометрией русла, но и положением реки в переходной зоне между горно-предгорными и равнинными ландшафтами. Такое положение усиливает пространственную неоднородность условий формирования стока.

При интерпретации расчетов важно учитывать, что данные постов Муслюмово и Першинское характеризуют разные части речной системы. Поэтому различия статистических показателей между створами отражают не только случайные колебания водности, но и изменение условий формирования стока по длине реки.

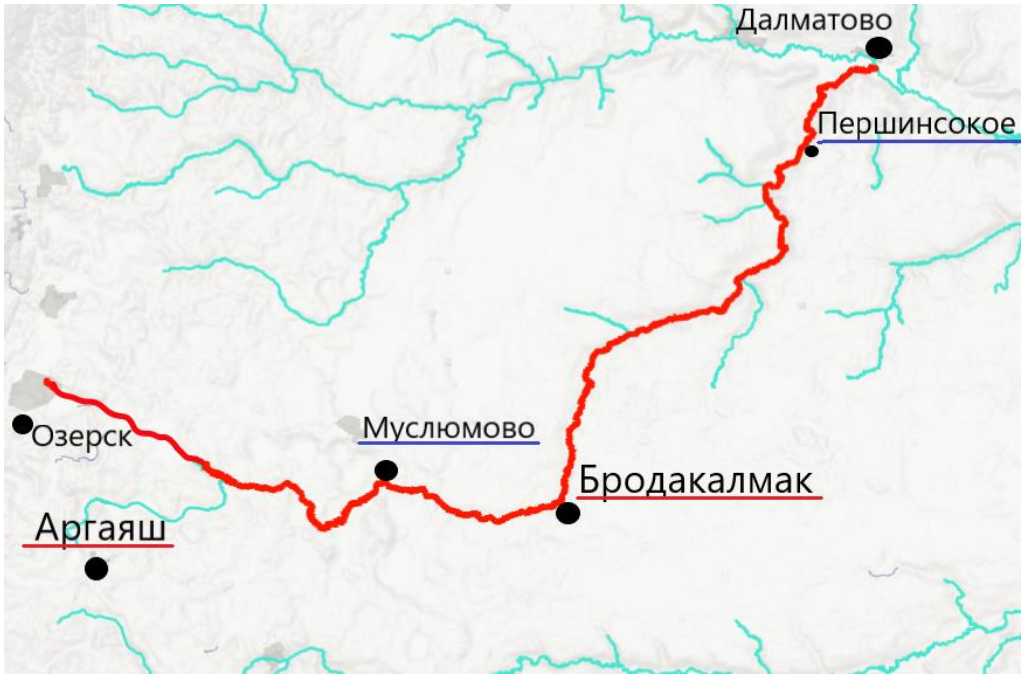


Рисунок 1.1 – расположение метеорологических станций и гидрологических постов

Река Теча расположена в пределах Южного Урала и относится к бассейну реки Исеть. Бассейн реки находится на территории Челябинской и Курганской

областей. Географическое положение бассейна определяет континентальность климата, выраженную сезонность гидрологических процессов и значительную роль снегового питания.

Длина реки составляет около 243 км, площадь водосборного бассейна - около 7600 км^2. Истоки реки связаны с системой озер и водоемов восточного склона Южного Урала, а устье находится в месте впадения в реку Исеть. В гидрографическом отношении Теча представляет собой среднюю реку с выраженной сезонной изменчивостью стока.

В пределах бассейна реки расположены населенные пункты, сельскохозяйственные территории, гидротехнические сооружения и водохозяйственные объекты. Это обуславливает необходимость рассматривать водный режим не только как естественное природное явление, но и как результат взаимодействия природных и хозяйственных факторов.

Гидрографическая сеть бассейна включает постоянные и временные водотоки, озера и искусственные водоемы. В формировании стока участвуют талые снеговые воды, дождевые осадки и подземное питание. При этом основное значение имеет весеннее снеготаяние, определяющее основную фазу водного режима.

1.2 Геологическое строение, рельеф, почвы и растительность

Территория бассейна реки Теча относится к восточной части Южного Урала и Зауралья. В рельефе преобладают равнинные и слабоволнистые поверхности, местами осложненные увалами, речными долинами и понижениями. Такое строение способствует формированию относительно плавного поверхностного стока, однако локальные особенности рельефа могут усиливать неравномерность увлажнения.

Геологическое строение бассейна связано с развитием древних пород Уральской области и четвертичных отложений. На водоразделах и в долинах распространены рыхлые отложения, влияющие на инфильтрацию, подземное питание и устойчивость русловых процессов.

Почвенный покров представлен преимущественно черноземными, серыми лесными и луговыми почвами, характерными для лесостепной зоны. Почвенно-растительные условия определяют величину испарения, способность водосбора аккумулировать влагу и скорость поступления талых и дождевых вод в русловую сеть.

Растительность бассейна представлена лесостепными ландшафтами, сельскохозяйственными угодьями и пойменной растительностью. Хозяйственное освоение территории изменяет естественное соотношение поверхностного и подземного стока, что необходимо учитывать при интерпретации гидрологических данных.

1.3 Климатические условия Южного Урала

Климат бассейна реки Теча умеренно континентальный. Для него характерны холодная продолжительная зима, сравнительно теплое лето, значительная годовая амплитуда температуры воздуха и неравномерное распределение атмосферных осадков в течение года.

Основная часть осадков выпадает в теплый период, однако формирование весеннего стока во многом определяется зимними осадками и запасами воды в снежном покрове. Снеговой покров обычно устанавливается в ноябре и сохраняется до весны. Его мощность и водность определяют объем весеннего половодья.

В современных условиях отмечается повышение температуры воздуха, особенно в холодный период года. Увеличение зимних температур способствует росту числа оттепелей, изменению плотности снежного покрова, более раннему началу снеготаяния и перераспределению части стока между сезонами.

Изменение режима атмосферных осадков проявляется в значительной межгодовой изменчивости годовых сумм. В отдельные годы наблюдаются экстремально влажные или засушливые условия, что отражается на величине годового стока и продолжительности меженных периодов.

1.4 Водный режим реки и антропогенная трансформация

Водный режим реки Теча характеризуется весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и зимней меженью. Весеннее половодье связано со снеготаянием и обычно является главной фазой годового стока. Летне-осенний период определяется осадками и испарением, а зимний сток поддерживается преимущественно подземным питанием и водохозяйственным регулированием.

Антропогенная трансформация является одной из ключевых особенностей бассейна реки Теча. Регулирование стока, наличие искусственных водоемов и хозяйственная деятельность приводят к изменению естественного гидрологического режима. Поэтому изменения расходов воды не могут быть объяснены исключительно климатическими факторами.

Сочетание климатических и антропогенных факторов формирует современный режим реки. В рамках данной работы основное внимание уделяется статистическим признакам изменения стока и климатическому фону этих изменений, при этом антропогенное влияние рассматривается как важное ограничение интерпретации.

Литературные и методические источники показывают, что в прикладной гидрологии для оценки подобных изменений необходимо использовать длительные ряды наблюдений, проверять их статистические свойства и сопоставлять гидрологические характеристики с климатическими данными.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Исходные данные наблюдений

Исходной основой исследования являются ряды гидрологических и метеорологических наблюдений. По гидрологической части использованы среднегодовые и среднемесячные расходы воды по постам Муслюмово и Першинское. Эти посты позволяют охарактеризовать изменение стока в разных участках реки.

Для климатического анализа использованы годовые значения температуры воздуха и сумм атмосферных осадков по станциям Аргаяш и Бродокалмак. Данные этих станций отражают климатические условия территории, близкой к бассейну реки Теча, и позволяют оценить изменение температурного режима и режима увлажнения.

Использование одновременно гидрологических и метеорологических рядов позволяет рассматривать водный режим в связи с климатическими факторами. Это особенно важно для оценки современных изменений, поскольку изменение стока может быть связано с изменением температуры, осадков и режима снегонакопления.

Перед расчетами данные были систематизированы, проверены на наличие пропусков и приведены к единому табличному виду. Для анализа использовались годовые и месячные ряды, графическое представление данных, статистические характеристики и сравнительные показатели за разные периоды.

2.2 Нормативная и учебно-методическая база

Методическая база работы сформирована на основе учебных пособий РГГМУ по гидрологическим расчетам и положений СП 33-101-2003, СП 529.1325800.2023. Эти источники определяют общую последовательность обработки гидрологических рядов и расчет основных характеристик.

Согласно методическим рекомендациям, анализ гидрологических характеристик включает предварительную оценку исходных данных, расчет среднего значения, коэффициентов изменчивости, построение графиков и

кривых, а также интерпретацию результатов с учетом физико-географических условий бассейна.

Для интерпретации результатов особенно важно понятие нормы годового стока. Под нормой понимается среднее значение за длительный период, охватывающий несколько циклов водности при относительно неизменных условиях формирования стока. Для реки Теча это понятие требует осторожного применения из-за антропогенного влияния и климатических изменений.

В работе также использован подход к анализу внутригодового распределения стока, предложенный в методических материалах по гидрологическим расчетам. Он предполагает изучение среднемесячных расходов, выделение сезонной структуры и сравнение распределений за периоды различной водности или климатической фазы.

2.3 Расчетные формулы и статистические показатели

В настоящей работе формулы использовались не как самостоятельный расчетный блок, а как инструмент сопоставления гидрологических рядов. Такой подход позволяет перейти от простого описания графиков к количественной оценке степени изменчивости стока и вероятностной структуры расходов воды.

Особое внимание уделялось коэффициенту вариации, поскольку именно он отражает относительную устойчивость или неустойчивость водности. Для рек с выраженным снеговым питанием рост Cv обычно свидетельствует о повышении контрастности между многоводными и маловодными годами, тогда как его снижение может указывать на сглаживание годовых колебаний.

Средний многолетний расход воды рассчитывался как среднее арифметическое значение ряда наблюдений. Эта характеристика используется как основа для оценки общей водности реки и для расчета модульных коэффициентов.

Коэффициент вариации использовался для оценки относительной изменчивости расходов воды. Чем выше значение Cv, тем сильнее межгодовые колебания стока относительно среднего значения. Для рек с высокой

климатической и антропогенной изменчивостью этот показатель может быть значительным.

Коэффициент асимметрии применялся для оценки несимметричности распределения расходов. В гидрологических рядах часто наблюдается положительная асимметрия, связанная с отдельными многоводными годами, резко отличающимися от основной массы наблюдений.

Для оценки вероятностной структуры стока использовалась эмпирическая обеспеченность. Значения расходов ранжировались по убыванию, после чего каждому члену ряда присваивалась вероятность превышения.

$$Q_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_i}{n}$$

где $Q_{\text{ср}}$ – средний многолетний расход воды; Q_i – годовой расход воды i-го года; n – длина ряда наблюдений.

$$Cv = \frac{\sigma}{Q_{\text{ср}}}$$

где Cv – коэффициент вариации; σ – среднеквадратическое отклонение ряда; $Q_{\text{ср}}$ – средний расход воды.

$$Cs = \frac{n\sum(k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)Cv^3}$$

где Cs – коэффициент асимметрии; k_i – модульный коэффициент; Cv – коэффициент вариации.

$$P = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\ \%$$

где P – эмпирическая обеспеченность превышения; m – порядковый номер расхода в ранжированном ряду; n - число наблюдений.

2.4 Разностные интегральные кривые и сравнение периодов

Разностные интегральные кривые использованы как способ гидрологической диагностики, позволяющий отличать кратковременные колебания от продолжительных фаз водности. В отличие от обычного

хронологического графика, такая кривая накапливает отклонения от нормы и делает видимыми скрытые многолетние тенденции.

При анализе периодов учитывалось, что климатический сигнал может проявляться не только в изменении среднего расхода, но и в перераспределении стока между месяцами. Поэтому сравнение периодов выполнено совместно по годовым и среднемесячным данным.

Для выявления многолетних циклов водности строились разностные интегральные кривые. Этот метод позволяет наглядно выделить периоды повышенной и пониженной водности. Рост кривой соответствует преобладанию многоводных лет, снижение - преобладанию маловодных лет.

Сравнение базового и современного периодов выполнялось по средним значениям расходов воды, температуры воздуха и осадков. Для проверки статистической значимости различий использовались t-критерий для независимых выборок и непараметрический критерий Манна-Уитни.

Внутригодовое распределение стока анализировалось по среднемесячным расходам. Для каждого месяца определялись средние значения за базовый и современный периоды, относительное изменение и изменение доли месяца в годовой сумме.

Для дополнительной оценки изменения распределений использовались непараметрические критерии Колмогорова-Смирнова, Куипера и Андерсона-Дарлинга, а также методы круговой статистики, позволяющие анализировать сезонность и концентрацию стока.

$$\frac{\sum(k_i - 1)}{Cv} = f(t)$$

где k_i – модульный коэффициент годового стока; Cv – коэффициент вариации; t – время наблюдения.

3 КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ИХ СВЯЗЬ СО СТОКОМ

3.1 Температура воздуха

Температура воздуха является одним из основных климатических факторов формирования стока. Для рек снегового питания она определяет сроки установления и схода снежного покрова, интенсивность снеготаяния, продолжительность ледовых явлений и величину испарения.

Анализ годовых рядов температуры воздуха по станциям Аргаяш и Бродокалмак показывает устойчивую тенденцию повышения температуры. Наиболее важным для гидрологического режима является рост температуры в холодный период, поскольку именно он может менять условия формирования весеннего половодья.

В таблице 3.1 представлены статистические характеристики климатических рядов, а на рисунке 3.1 - график среднегодовой температуры воздуха.

Таблица 3.1 – Статистические характеристики климатических рядов

Ряд	Период	N	Среднее	Мин.	Макс.	σ	Cv	Тренд за 10 лет
Аргаяш, температура	1938-2018	81	2.4	-0.71	4.72	1.00	0.42	0.18
Бродакалмак, температура	1938-2018	81	2.1	-0.85	4.68	1.07	0.50	0.26
Аргаяш, осадки	1938-2018	81	415	207	599	89.9	0.22	11.4
Бродакалмак, осадки	1938-2018	81	427	198	676	90.4	0.21	8.5

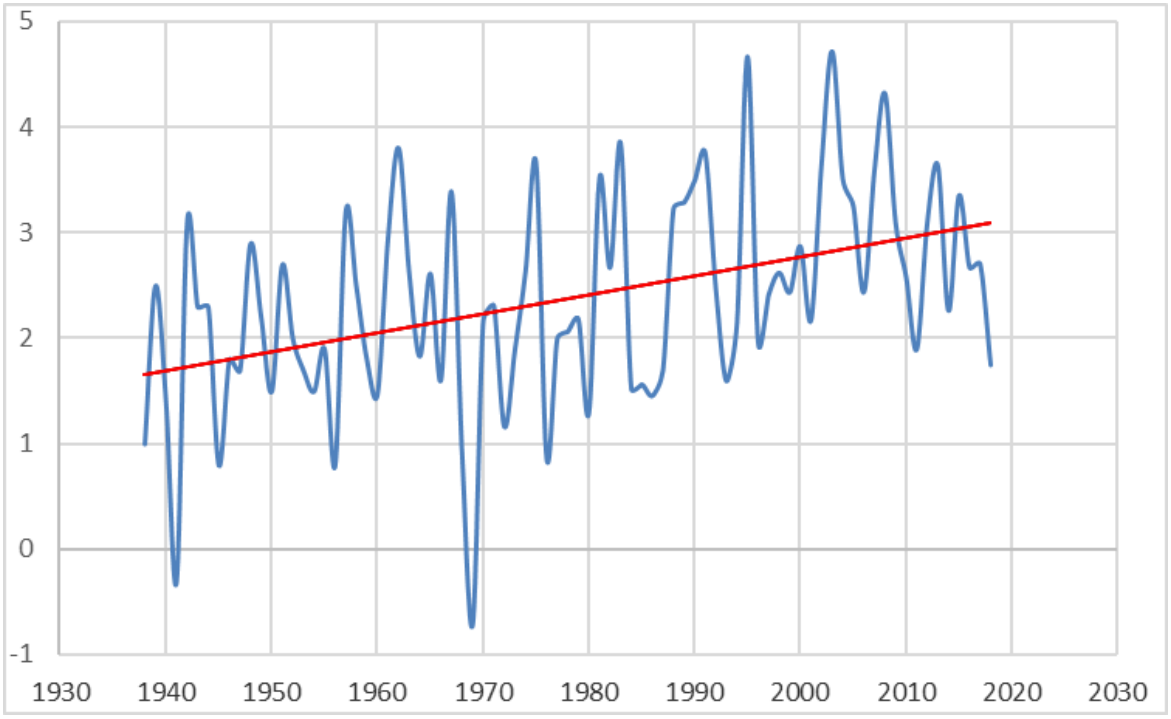


Рисунок 3.1 – Среднегодовая температура воздуха по метеостанции Аргаяш

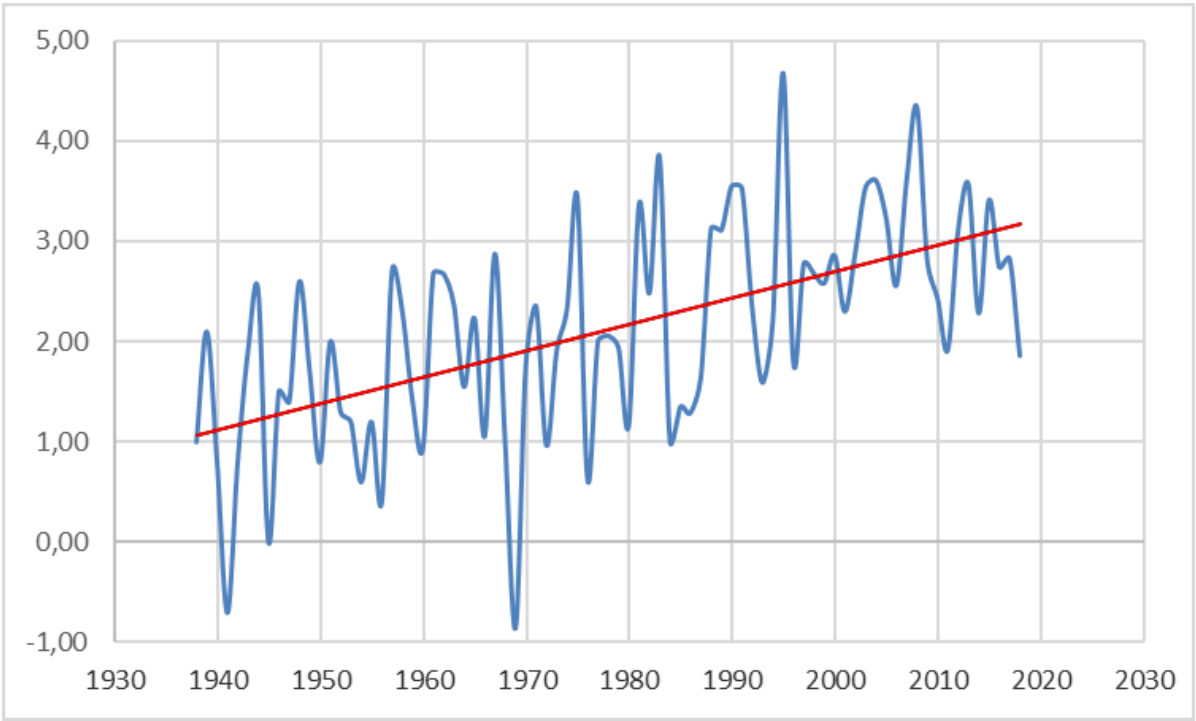


Рисунок 3.2 – Среднегодовая температура воздуха по метеостанции Бродокалмак

Тренды температуры статистически значимы, что подтверждает наличие современного потепления на исследуемой территории. Для гидрологического

режима это означает повышение вероятности зимних оттепелей и более раннего начала весенних процессов.

Повышение температуры может приводить к уменьшению сезонной контрастности стока. Часть влаги, которая ранее аккумулировалась в снежном покрове до весны, может включаться в сток раньше или изменять условия промерзания почвы.

3.2 Атмосферные осадки

Атмосферные осадки являются главным источником питания реки. Для годового стока важны не только годовые суммы осадков, но и их сезонное распределение, соотношение жидких и твердых осадков, а также повторяемость экстремальных осадочных событий.

Годовые суммы осадков по станциям Аргаяш и Бродокалмак имеют значительную межгодовую изменчивость. В отдельные годы наблюдаются значения, существенно отличающиеся от среднего уровня, что непосредственно отражается на расходах воды.

В отличие от температуры, тренды осадков менее устойчивы статистически. Однако увеличение или перераспределение осадков в сочетании с ростом температуры может приводить к заметной перестройке гидрологического режима.

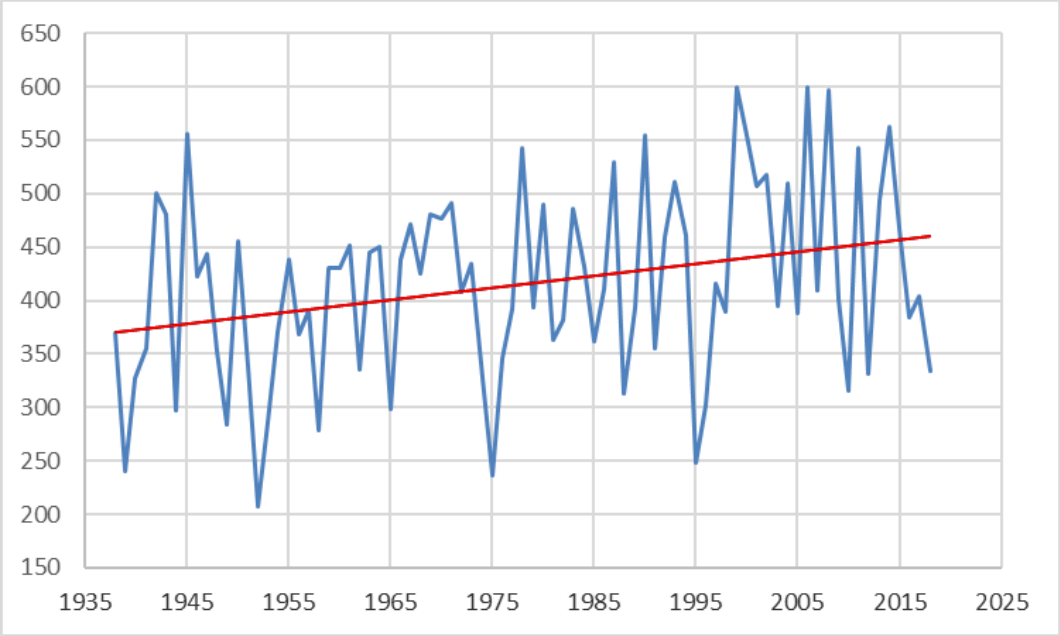


Рисунок 3.3 – Годовые суммы атмосферных осадков по метеостанции Аргаяш

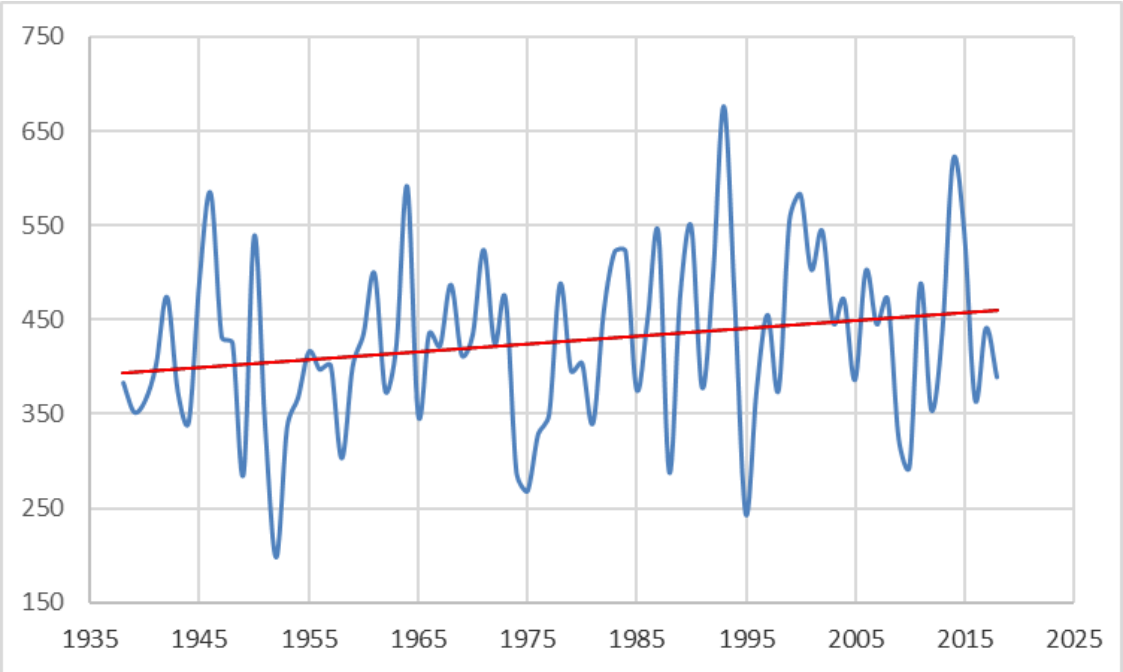


Рисунок 3.4 – Годовые суммы атмосферных осадков по метеостанции Бродакалмак

Графики осадков показывают чередование влажных и сухих лет. Это согласуется с результатами анализа разностных интегральных кривых стока, где также выделяются фазы различной водности.

Для реки Теча особенно важно учитывать осадки холодного периода, поскольку они формируют снегозапасы. Однако годовые суммы не позволяют полностью раскрыть сезонную структуру увлажнения, поэтому результаты по осадкам рассматриваются как общий климатический фон.

3.3 Связь климатических факторов и стока

Для оценки связи стока с климатическими факторами построены графики зависимости среднегодовых расходов от температуры и осадков. Такие графики не являются полноценной физико-математической моделью, но позволяют оценить наличие общей статистической связи.

Связь стока с осадками обычно положительна, поскольку увеличение поступления влаги в бассейн способствует росту расходов. Связь с температурой сложнее: повышение температуры может увеличивать зимний сток и ускорять снеготаяние, но одновременно повышает испарение.

На рисунках 3.5-3.8 представлены диаграммы рассеяния для гидрологических постов и климатических факторов.

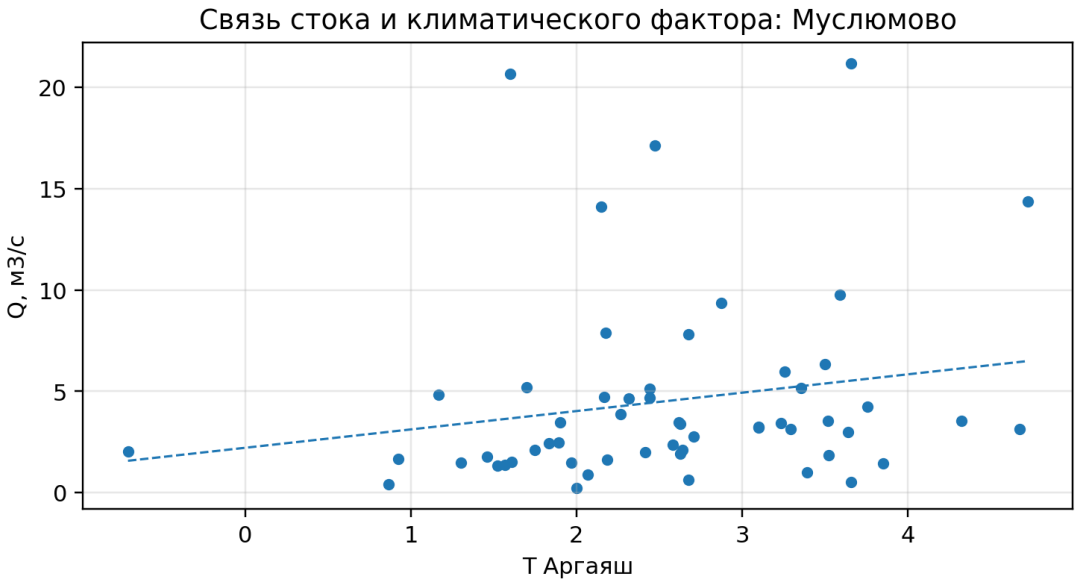


Рисунок 3.5 – Связь среднегодового расхода поста р. Теча – Муслюмово с температурой воздуха по МС Аргаяш

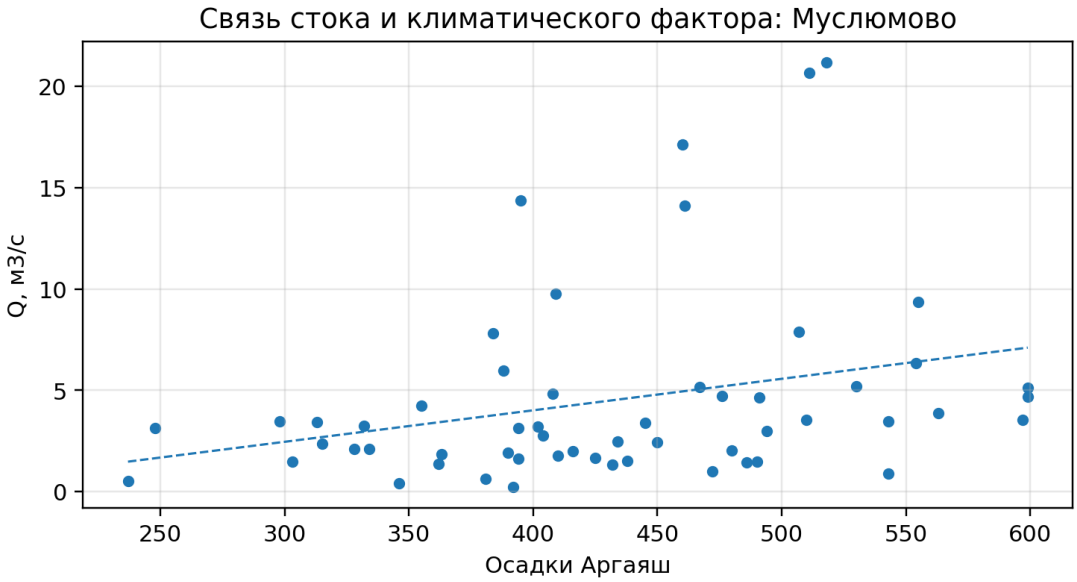


Рисунок 3.6 – Связь среднегодового расхода поста р. Теча – Муслюмово с осадками по МС Аргаяш

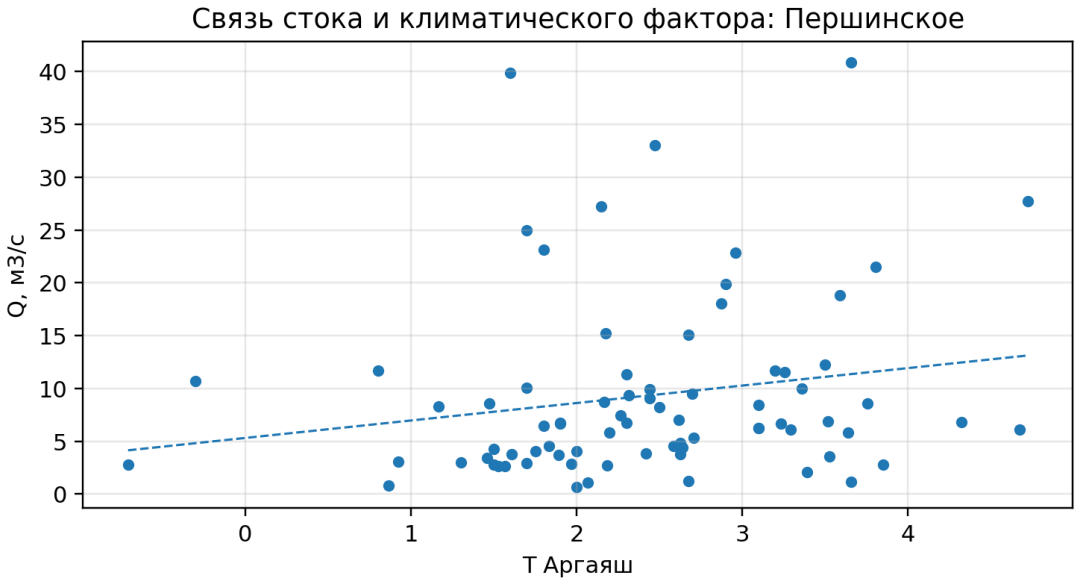


Рисунок 3.7 – Связь среднегодового расхода поста р. Теча – Першинское с температурой воздуха по МС Аргаяш

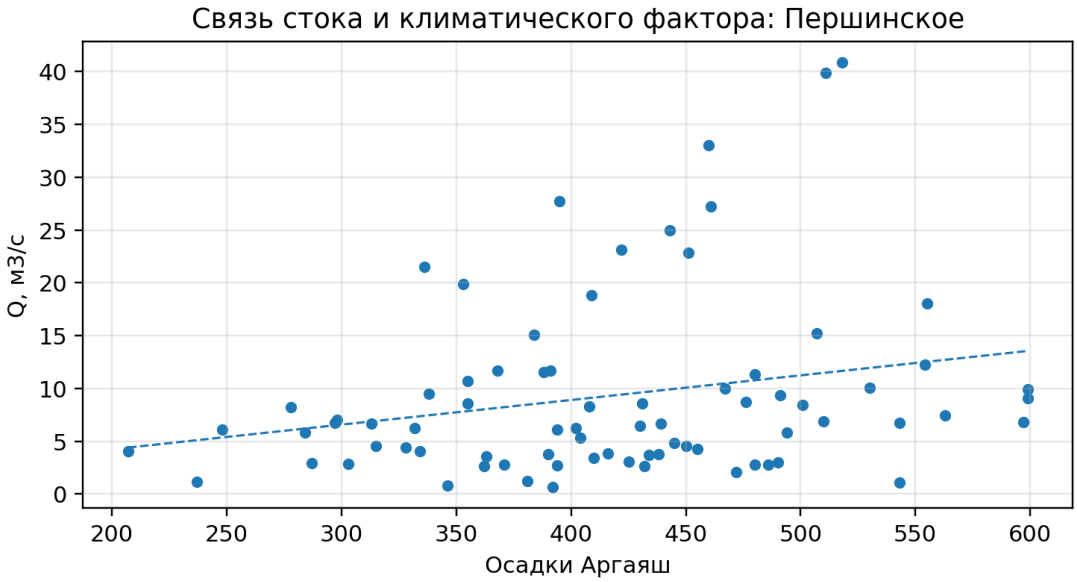


Рисунок 3.8 – Связь среднегодового расхода поста р. Теча – Першинское с осадками по МС Аргаяш

Полученные зависимости имеют значительный разброс, что закономерно для природных гидрологических рядов. На величину годового стока влияет не один фактор, а совокупность условий: осадки разных сезонов, температура, снегозапасы, влажность почвы, испарение, подземное питание и регулирование стока.

Тем не менее климатические графики подтверждают, что современное изменение водного режима происходит на фоне потепления и высокой межгодовой изменчивости осадков. Такой прием дает возможность рассматривать климатические изменения как один из ключевых факторов трансформации стока.

3.4 Ограничения климатической интерпретации

Для реки Теча необходимо учитывать, что водный режим формируется в условиях антропогенного влияния. Поэтому нельзя полностью отделить климатический фактор от регулирования стока и хозяйственной деятельности без специальных данных о водохозяйственном режиме.

Выполненный анализ показывает статистические изменения стока и климатический фон, но не показывает полное количественное разделение вклада

климата и антропогенного воздействия. Такое разделение требует дополнительных данных о сбросах, водозаборах, работе гидротехнических сооружений и изменении водопользования.

Ограничением также является использование годовых рядов для климатического анализа. Годовые значения сглаживают сезонные особенности, тогда как для водного режима особенно важны зимние и весенние показатели.

Несмотря на эти ограничения, совокупность результатов позволяет сделать обоснованный вывод о трансформации водного режима в современных климатических условиях.

4 АНАЛИЗ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ТЕЧА

4.1 Статистические характеристики среднегодовых расходов

Анализ годового стока выполнен по рядам среднегодовых расходов воды постов Муслюмово и Першинское. Эти данные позволяют оценить общую водность реки, межгодовую изменчивость и наличие направленных изменений во времени.

Статистические характеристики показывают, что оба ряда отличаются значительной изменчивостью. Высокие значения коэффициента вариации свидетельствуют о большой роли отдельных многоводных и маловодных лет. Для реки Теча это связано как с климатической изменчивостью, так и с антропогенной трансформацией стока.

В таблице 4.1 представлены основные статистические характеристики среднегодовых расходов. Расчет выполнен по формулам, приведенным в методической главе.

Таблица 4.1 – Основные статистические характеристики среднегодовых расходов воды

Пост	Период	N	Среднее	Мин.	Макс.	σ	Cv	Cs	Тренд за 10 лет
Муслюмово	1963-2019	57	4.49	0.23	21.2	4.66	1.04	2.27	0.75
Першинское	1941-2019	78	9.25	0.66	40.9	8.56	0.93	1.95	0.22



Рисунок 4.1 – Многолетняя изменчивость среднегодовых расходов воды р. Теча

Хронологические графики показывают значительные колебания расходов воды. Для обоих постов характерно наличие лет с резко повышенными значениями, которые существенно влияют на среднее значение и коэффициенты изменчивости.

Линии тренда на графике показывают общее направление изменения водности. При интерпретации тренда необходимо учитывать цикличность водности и регулирующее влияние, поэтому линейный тренд рассматривается как вспомогательная характеристика, а не как единственный показатель изменения режима.

4.2 Обеспеченность и межгодовая изменчивость

Для вероятностной оценки годового стока построены эмпирические кривые обеспеченности. Они позволяют определить, с какой вероятностью могут быть превышены те или иные значения среднегодовых расходов воды.

Эмпирические кривые обеспеченности являются важным инструментом гидрологических расчетов. Они позволяют сопоставить многоводные и маловодные годы, выделить экстремальные значения и оценить положение отдельных лет в общем распределении.

В работе расчет эмпирической обеспеченности выполнен по ранжированным рядам расходов воды. Фрагменты расчетных таблиц приведены ниже, полные ряды помещены в приложения.

Таблица 4.2 – Фрагмент расчета эмпирической обеспеченности, р. Теча – Муслюмово

m	Q, м^3/с	k=Q/Qср	P, %
1	21.2	4.72	1.72
2	20.7	4.61	3.45
3	17.1	3.82	5.17
4	14.4	3.21	6.90
5	14.1	3.14	8.62
6	9.77	2.18	10.3
7	9.36	2.09	12.1
8	7.89	1.76	13.8
9	7.82	1.74	15.5
10	6.34	1.41	17.2
11	5.99	1.34	19.0
12	5.20	1.16	20.7

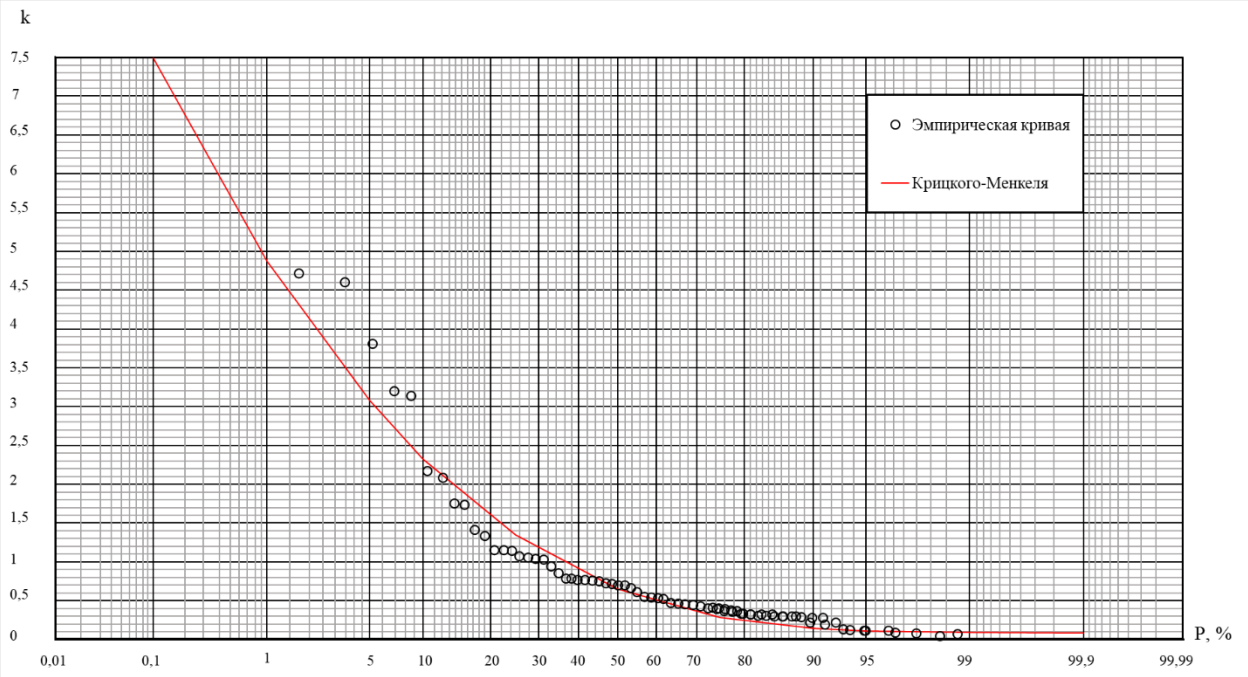


Рисунок 4.2 – Эмпирическая и аналитическая кривая обеспеченности среднегодовых расходов, р. Теча – Муслюмово

Таблица 4.3 – Фрагмент расчета эмпирической обеспеченности, р. Теча – Першинское

m	Q, м^3/с	k=Q/Qср	P, %
1	40.9	4.42	1.27
2	39.9	4.31	2.53
3	33.0	3.57	3.80
4	27.8	3.00	5.06
5	27.2	2.94	6.33
6	25.0	2.70	7.60
7	23.1	2.50	8.86
8	22.8	2.47	10.1
9	21.5	2.33	11.4
10	19.9	2.15	12.7
11	18.9	2.04	13.9
12	18.1	1.95	15.2

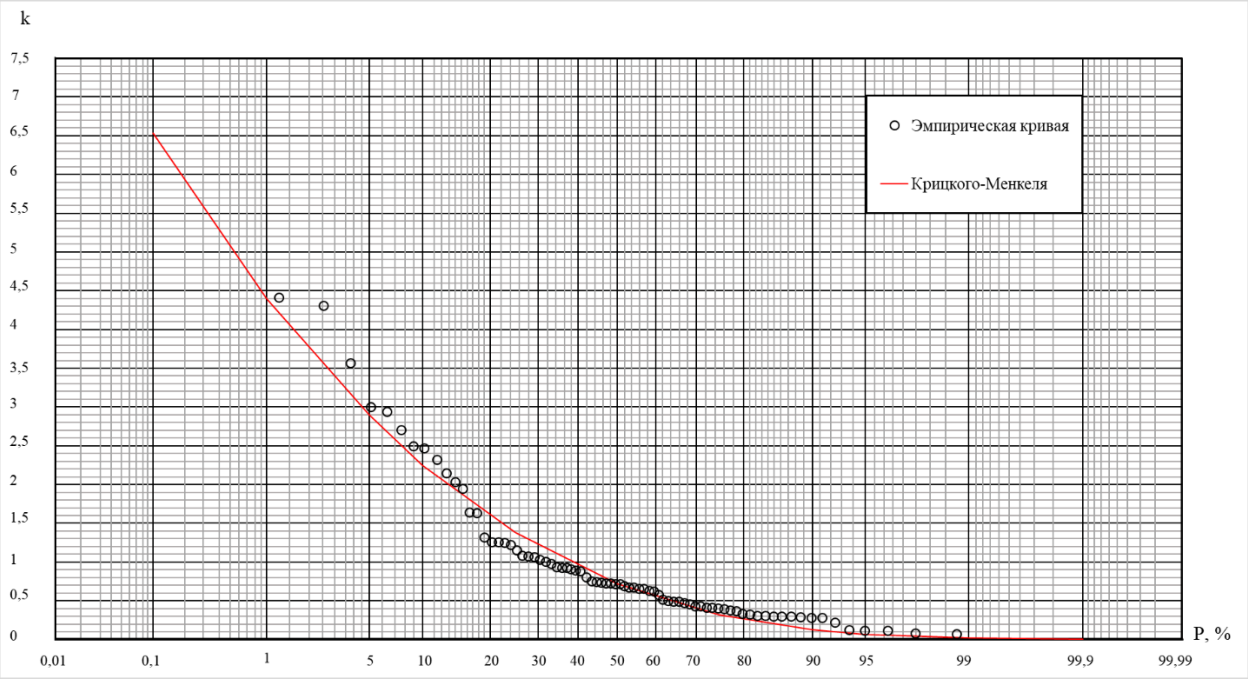


Рисунок 4.2 - Эмпирическая и аналитическая кривая обеспеченности среднегодовых расходов, р. Теча – Першинское

Форма эмпирических кривых показывает, что распределение годовых расходов не является симметричным. Верхняя часть кривых отражает влияние отдельных многоводных лет, нижняя часть - условия маловодных периодов.

Для водохозяйственных расчетов особенно важны маловодные обеспеченности, поскольку они определяют устойчивость водных ресурсов в

неблагоприятных условиях. В то же время многоводные годы важны для оценки вероятности высоких расходов и возможного подтопления пойменных участков.

4.3 Разностные интегральные кривые

Полученные кривые следует рассматривать как основу для выделения фаз водности. Восходящие участки соответствуют годам, когда расходы в среднем превышают многолетнюю норму, нисходящие - периодам дефицита стока. Такая интерпретация позволяет связать расчетные результаты с реальными гидрологическими условиями периода наблюдений.

Для выявления циклов водности построены разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды. Этот метод позволяет выявить периоды, когда сток в среднем превышал норму, и периоды, когда сток был ниже нормы.

Рост разностной интегральной кривой соответствует фазе повышенной водности. Понижение кривой соответствует фазе пониженной водности. Наличие смены направлений кривой указывает на циклический характер водности.

Применение разностных интегральных кривых особенно важно при анализе трендов, поскольку позволяет отделить направленные изменения от естественных многолетних колебаний.

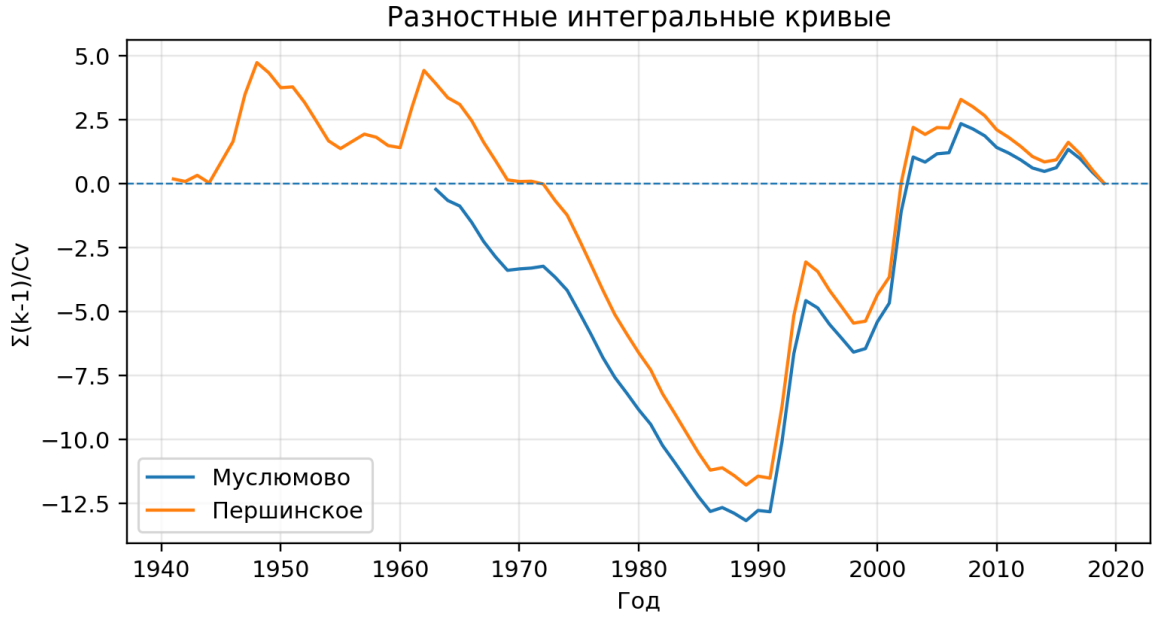


Рисунок 4.3 – Разнотные интегральные кривые среднегодовых расходов воды

Полученные кривые показывают, что ряды расходов содержат продолжительные фазы повышенной и пониженной водности. Это подтверждает необходимость осторожной оценки нормы стока и сравнения периодов.

Если расчетный период включает преимущественно многоводные годы, средняя величина стока может быть завышена относительно долгосрочного значения. Если период охватывает маловодную фазу, норма может быть занижена. Поэтому для реки Теча важен комплексный анализ, включающий графики, статистические характеристики и сравнение периодов.

4.4 Сравнение базового и современного периодов

Для оценки современных изменений выполнено сравнение базового и современного периодов. В качестве базовых использованы периоды, близкие к климатической норме второй половины XX века, а в качестве современных - последние десятилетия наблюдений.

Сравнение средних значений показывает, что в современный период расходы воды увеличились. Статистическая значимость различий оценивалась t-критерием и критерием Манна-Уитни. При обработке результатов учитывалось, что ряды стока могут быть неоднородны из-за антропогенного воздействия.

Таблица 4.3 - Сравнение базового и современного периодов

Ряд	Базовый	N1	Среднее 1	Современный	N2	Среднее 2	Изм., %
Муслюмово	1963-1992	30	2.915	1993-2019	27	6.231	113.8
Першинское	1961-1990	30	5.583	1991-2019	29	12.63	126.2
Аргаяш, Т	1961-1990	30	2.255	1991-2018	28	2.920	29.50
Бродокалмак, Т	1961-1990	30	2.030	1991-2018	28	2.858	40.79
Аргаяш, осадки	1961-1990	30	418.6	1991-2018	28	445.0	6.290
Бродокалмак, осадки	1961-1990	30	429.7	1991-2018	28	451.1	4.982

По постам Муслюмово и Першинское выявлено увеличение средних расходов воды в современный период. По критерию Манна-Уитни различия являются статистически значимыми, что указывает на изменение распределения годового стока.

Рост средних расходов не следует автоматически трактовать только как результат изменения климата. Для реки Теча существенны регулирование и хозяйственная деятельность. Тем не менее совпадение изменений стока с ростом температуры и изменением режима осадков позволяет рассматривать климатический фактор как важную часть современного гидрологического фона.

4.5 Изменения годового стока

Анализ годового стока показывает, что современный водный режим реки Теча характеризуется высокой изменчивостью и признаками увеличения водности. Данные по двум постам в целом согласуются между собой, что повышает надежность выводов.

Наиболее выраженные изменения проявляются не только в средних годовых значениях, но и в сезонном распределении, которое рассматривается в последующих разделах. Это принципиально важно, поскольку именно внутригодовое распределение определяет практические условия водопользования и состояние водной экосистемы.

Для рек снегового питания изменение годового стока часто связано с изменением зимних и весенних процессов. Если температура повышается, меняется режим накопления снега, сроки его таяния и доля зимнего стока. В результате годовая водность может изменяться одновременно с перестройкой сезонной структуры.

Практический смысл выполненных расчетов заключается в том, что они позволяют уточнить современное состояние водного режима и показать необходимость учета последних наблюдений при гидрологических оценках.

5 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА

5.1 Среднемесячные расходы воды по посту Муслюмово

Внутригодовое распределение стока отражает сезонную структуру водного режима. Для рек снегового питания оно характеризуется весенним максимумом, летне-осенней меженью с возможными дождевыми паводками и зимней меженью.

Для поста Муслюмово выполнено сравнение среднемесячных расходов базового и современного периодов. Такое сравнение позволяет определить, в какие месяцы произошли наиболее заметные изменения.

В таблице 5.1 приведены среднемесячные расходы воды и относительные изменения между периодами.

Таблица 5.1 – Среднемесячные расходы воды по посту р. Теча – Муслюмово

Месяц	Базовый	Современный	Изм., %
I	0.88	2.09	138.5
II	0.64	1.92	196.7
III	0.74	2.28	210.2
IV	10.6	17.8	68.00
V	6.77	12.2	80.49
VI	2.88	8.04	179.0
VII	2.45	6.97	184.8
VIII	5.57	6.60	18.51
IX	2.01	6.06	202.1
X	2.76	4.95	79.80
XI	3.79	3.80	0.174
XII	1.13	2.77	144.6

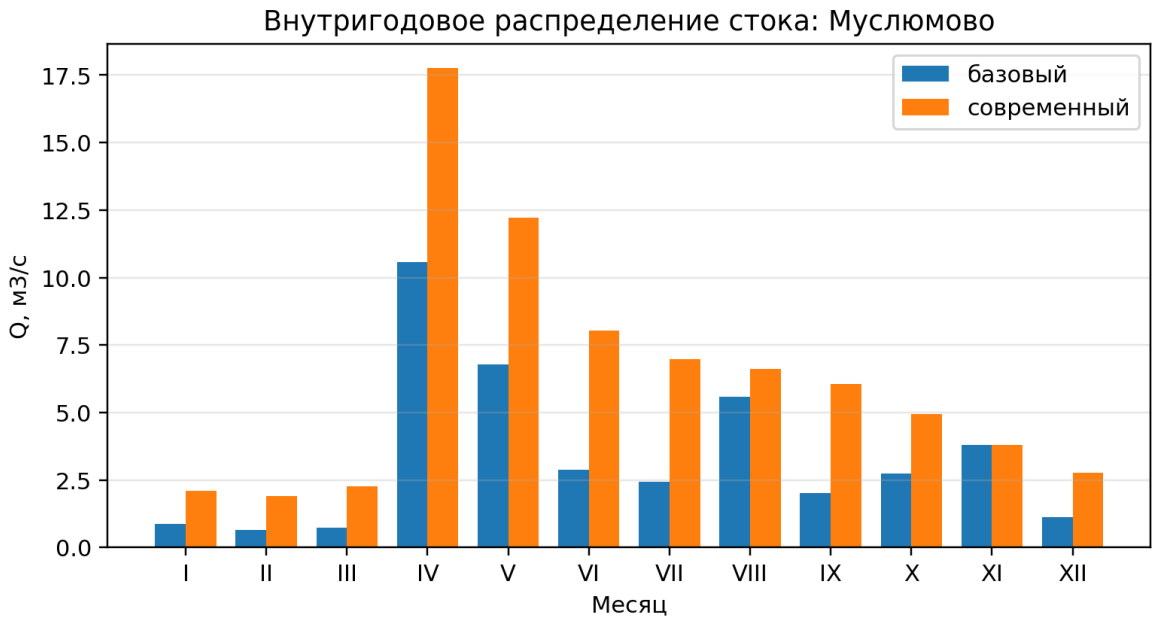


Рисунок 5.1 – Внутригодовое распределение стока по посту р. Теча – Муслюмово

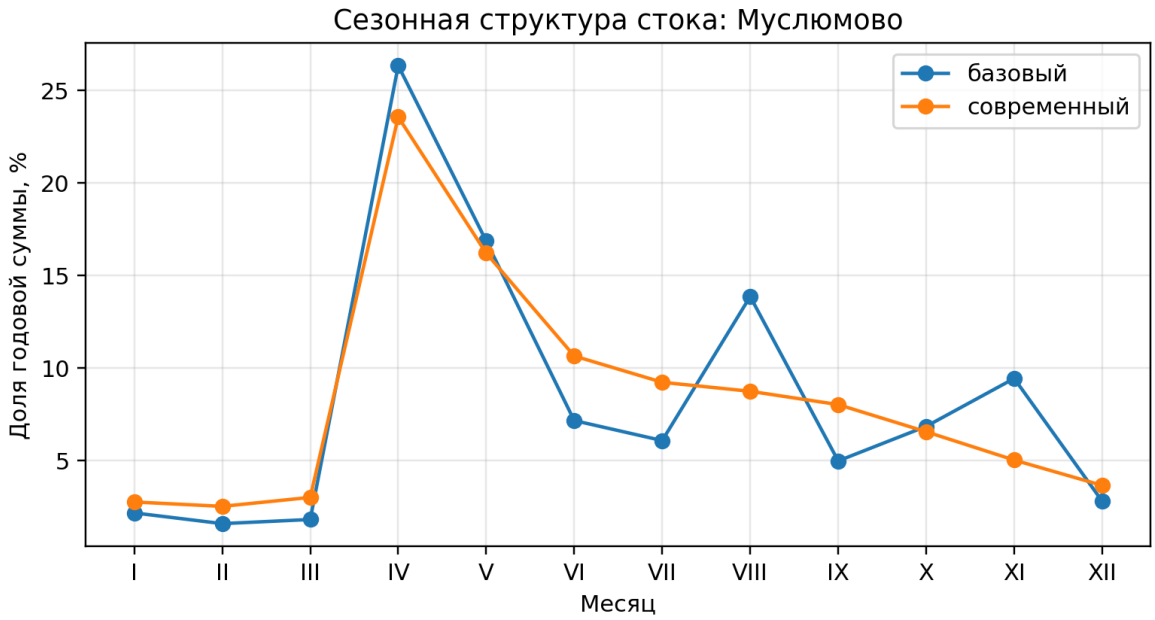


Рисунок 5.2 – Доля месячного стока в годовой сумме по посту р. Теча – Муслюмово

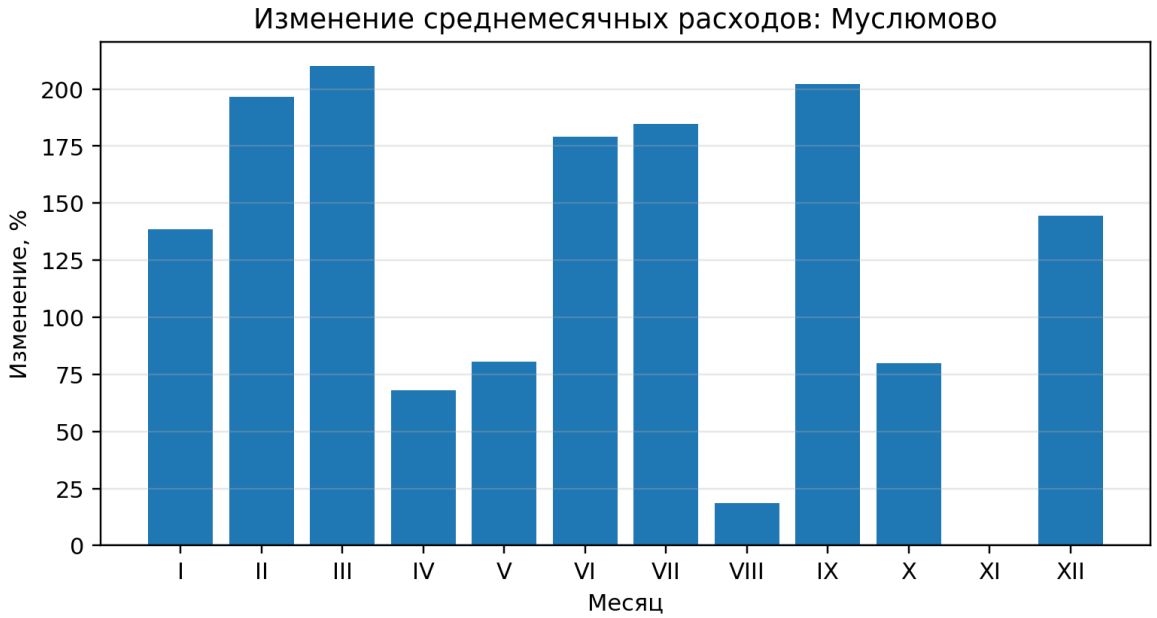


Рисунок 5.3 – Относительное изменение среднемесячных расходов по посту р. Теча – Муслюмово

По посту Муслюмово наблюдается увеличение расходов в большинстве месяцев. При этом важно не только абсолютное увеличение, но и изменение долей отдельных месяцев в годовой сумме. Такие изменения указывают на перестройку сезонной структуры стока.

Рост расходов в холодный период может быть связан с потеплением, увеличением зимнего питания и регулированием стока. Изменения в весенний период отражают трансформацию процессов снеготаяния и возможное сглаживание половодья.

5.2 Среднемесячные расходы воды по посту Першинское

По посту Першинское также выполнено сравнение среднемесячных расходов базового и современного периодов. Этот пост позволяет сопоставить изменения, выявленные выше по течению, с другим участком реки.

Результаты показывают, что изменение внутригодового распределения выражено не только локально. Сходство тенденций по двум постам подтверждает устойчивость выявленных закономерностей.

В таблице 5.2 представлены среднемесячные расходы воды и относительные изменения.

Таблица 5.2 – Среднемесячные расходы воды по посту р. Теча – Першинское

Месяц	Базовый	Современный	Изм., %
I	1.68	4.22	151.0
II	1.33	3.92	195.9
III	1.59	6.12	285.3
IV	21.1	35.0	65.78
V	12.2	25.6	109.7
VI	6.53	15.8	142.5
VII	5.00	13.8	175.2
VIII	9.34	13.7	46.42
IX	3.64	12.0	229.4
X	4.96	9.88	99.00
XI	7.40	7.09	-4.121
XII	2.32	5.79	150.2

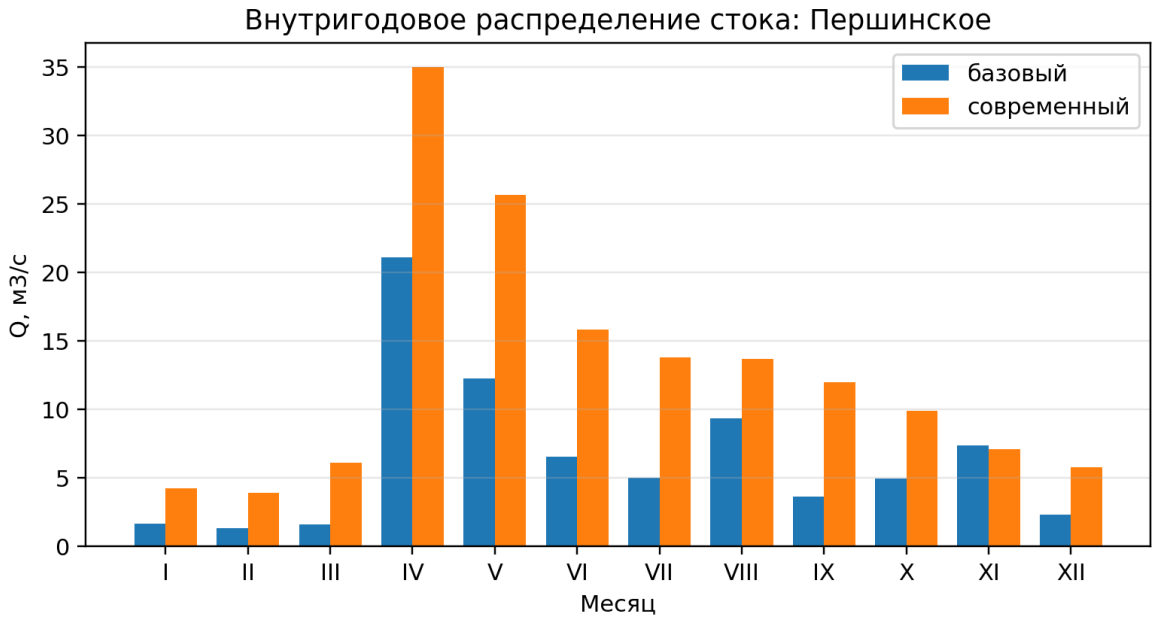


Рисунок 5.4 – Внутригодовое распределение стока по посту р. Теча – Першинское

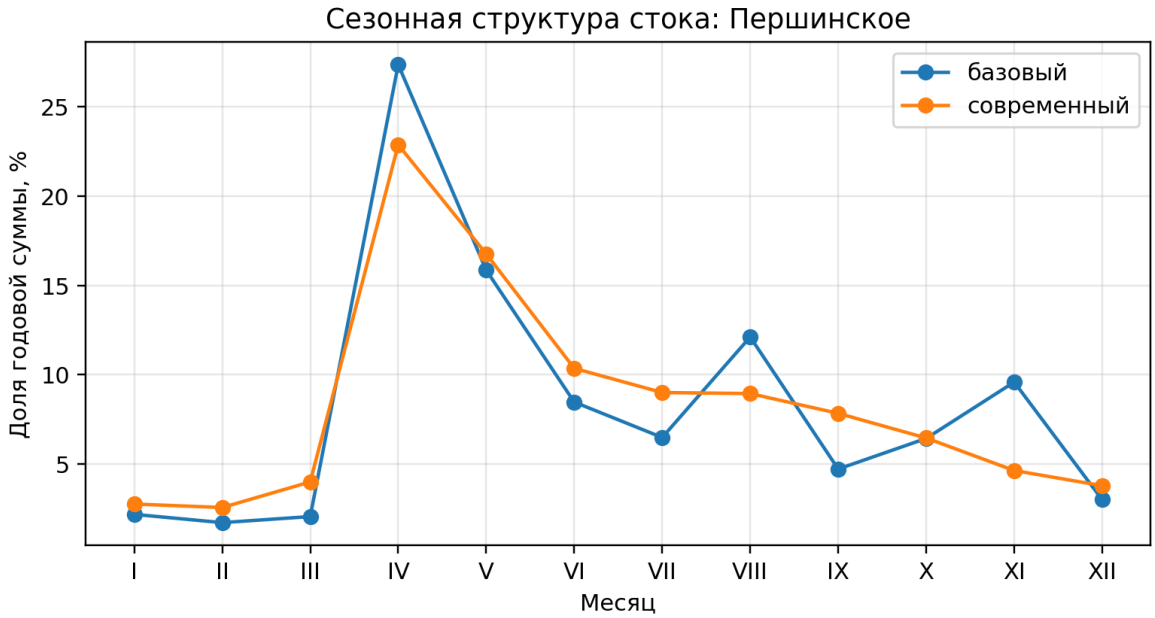


Рисунок 5.5 – Доля месячного стока в годовой сумме по посту р. Теча –Першинское



Рисунок 5.6 - Относительное изменение среднемесячных расходов по посту р. Теча –Першинское

Изменения по посту Першинское в целом подтверждают вывод о перераспределении стока внутри года. Для ряда месяцев относительный прирост особенно велик, что указывает на изменение сезонной структуры водности.

Необходимо учитывать регулирующее влияние. Однако совпадение изменений с общим климатическим фоном и результатами по другому посту

позволяет рассматривать выявленные изменения как существенную характеристику современного режима.

5.3 Статистическая проверка изменения распределения

Двухвыборочный тест Колмогорова-Смирнова (KS-тест) - непараметрический тест, проверяющий гипотезу о том, что две выборки извлечены из одного непрерывного распределения. Статистика теста – максимальное абсолютное различие между эмпирическими функциями распределения (ECDF) двух выборок:

$$D_{n,m} = \sup_x \left|F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)\right|$$

Преимущество: чувствителен к любым различиям в форме распределения (сдвиг, масштаб, асимметрия). Недостаток: меньшая мощность на «хвостах» распределения.

Тест Куипера (Kuiper's test) - модификация KS-теста, использующая сумму максимального положительного и отрицательного отклонений:

$$V = D^+ + D^- = \max_x\left(F_2(x) - F_1(x)\right) + \max_x\left(F_1(x) - F_2(x)\right)$$

Преимущество: инвариантен к циклическим данным (например, годовому циклу) и более чувствителен к различиям на краях распределения.

Тест Андерсона–Дарлинга (Anderson–Darling test) - улучшенная версия KS-теста, придающая больший вес «хвостам» распределения с помощью весовой функции:

$$A^2 = n\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left(F_n(x) - F(x)\right)^2}{F(x)\left(1 - F(x)\right)}\, dF(x)$$

Полезен для обнаружения различий в экстремальных значениях стока.

Круговая статистика и тест Ватсона–Уильямса - для анализа сезонности месячные данные преобразуются в углы (0-2π). Среднее направление (центр масс стока) и результирующая длина вектора (концентрация) вычисляются как:

$$\bar{\theta} = \arg\left(\sum w_j e^{i\theta_j}\right),$$
$$R = \left|\sum w_j e^{i\theta_j}\right|$$

Тест Ватсона-Уильямса – параметрический аналог однофакторного ANOVA для круговых данных; проверяет равенство средних направлений в двух группах.

Тест Ватсона-Уилера (Mardia-Watson-Wheeler) – непараметрический тест для сравнения двух или более выборок круговых данных без предположения о равенстве концентраций. Статистика основана на ранжировании углов на окружности и асимптотически распределена как χ^2.

Тест Крускала–Уоллиса – непараметрический аналог однофакторного дисперсионного анализа. Проверяет гипотезу о том, что медианы нескольких групп равны. В данном случае сравниваются все 12 месяцев двух периодов как единые выборки.

Тест Манна–Уитни (U-тест) – непараметрический тест для попарного сравнения двух независимых выборок. Используется здесь для сравнения расходов в каждом месяце между периодами.

Таблица 5.1 – Сравнение полных распределений стока

Тест	Статистика	p-value	Отвергаем H_0 (α=0.05)
Колмогоров–Смирнов	0.9167	1.8×10^{-5}	**Да**
Куипер	0.9167	8.4×10^{-5}	**Да**
Андерсон–Дарлинг	10.8519	<0.001	**Да**

Все три теста дают крайне низкие p-value (много меньше 0.05), что позволяет уверенно отвергнуть нулевую гипотезу. Статистика KS и Куипера имеет максимально возможное значение (0.9167), указывая на колоссальные различия между эмпирическими распределениями. Тест Андерсона-Дарлинга, чувствительный к «хвостам», подтверждает, что различия присутствуют не только в центральной части, но и в экстремальных значениях.

Таблица 5.2 – Параметры кругового распределения

Период	Средний угол (градусы)	Соответствующий месяц	Концентрация (R)
Базовый (1)	30.7°	май	0.6549

Период	Средний угол (градусы)	Соответствующий месяц	Концентрация (R)
Изменённый климат (2)	21.4°	май	0.2750

Центр масс стока в обоих периодах приходится на май (разница около 9°, что соответствует ~3 дням).

Концентрация стока (показатель сезонной сосредоточенности) снизилась с 0.655 до 0.275 – более чем вдвое. Это означает, что в базовом периоде сток был сильнее сконцентрирован в определённое время года, тогда как в изменённом климате он распределён более равномерно по месяцам.

Таблица 5.3 – Тесты для круговых данных

Тест	Статистика	p-value	Отвергаем H_0
Ватсон–Уильямс (сравнение средних углов)	F = 0.042	0.8404	**Нет**
Ватсон–Уилер (Mardia–Watson–Wheeler)	W = 34.81	$\sim 10^{-8}$	**Да**

Ватсон-Уильямс не обнаруживает значимого различия между средними направлениями ($p = 0.84$) – то есть дата пика стока существенно не изменилась.

Ватсон–Уилер показывает крайне высокую статистику (34.8) и $p \approx 0$. Это означает, что концентрация стока (его сезонная «сосредоточенность») изменилась кардинально, даже если средний угол остался прежним. Иными словами, форма сезонного цикла стала более «размытой».

В итоге получаем, что нулевая гипотеза H_0 (распределения идентичны) отвергается. Альтернативная гипотеза H_1 принимается: внутригодовые распределения стока статистически значимо различаются между базовым периодом и периодом с изменяющимся климатом.

1. Форма распределения изменилась кардинально: максимально возможная статистика KS (0.92) и экстремально низкие p-value подтверждают, что два распределения практически не перекрываются.
2. Сезонная концентрация снизилась более чем вдвое ($R = 0.655 \rightarrow 0.275$):
   - В базовом периоде сток был сильно сконцентрирован в феврале-марте.

- В изменённом климате сток распределён гораздо равномернее в течение года.

3. Время пика (средний угол) существенно не изменилось – оба периода имеют максимум в феврале, сдвиг менее 10°.

4. Экстремальные значения (по тесту Андерсона–Дарлинга) изменились – важный вывод для оценки рисков наводнений и засух.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что климатические изменения привели не к сдвигу сезонного пика стока, а к «размыванию» сезонной структуры: сток стал более равномерным в течение года. Это может быть связано с уменьшением снегозапасов и более ранним снеготаянием; изменением режима жидких осадков; повышением температуры, уменьшающей сезонную контрастность; антропогенным воздействием.

5.4 Гидрологическая интерпретация сезонных изменений

Снижение сезонной концентрации стока имеет принципиальное значение для оценки современного режима реки. Если ранее большая часть годового объема проходила в сравнительно короткий период половодья, то в современных условиях возрастает роль месяцев, которые традиционно относились к меженным или переходным сезонам.

Такое перераспределение не обязательно означает увеличение годового стока. Оно прежде всего указывает на изменение механизма его формирования: часть воды поступает в русло раньше, более дробно или при иной структуре осадков и температур.

Гидрологическая интерпретация результатов состоит в том, что современный режим реки Теча становится менее резко выраженным по сезонам. Для рек снегового питания это означает ослабление доминирующей роли весенней фазы и увеличение значения других сезонов.

Снижение сезонной концентрации может быть связано с несколькими процессами. Первый – повышение зимней температуры, приводящее к оттепелям и частичному расходованию снежных запасов до основного весеннего

половодья. Второй – изменение режима осадков, включая увеличение доли жидких осадков. Третий – регулирование стока, сглаживающее естественные сезонные колебания.

Увеличение зимних расходов может иметь важное экологическое значение. С одной стороны, оно повышает водность в меженный период. С другой стороны, изменение ледового и температурного режима может влиять на состояние водной экосистемы.

Изменение весеннего половодья влияет на пойменные процессы, самоочищение русла, питание пойменных водоемов и условия водопользования. Поэтому результаты анализа внутригодового распределения имеют не только расчетное, но и природоохранное значение.

Летне-осенний сток зависит от осадков теплого периода и испарения. Его изменение может быть связано с ростом повторяемости дождевых паводков или с перераспределением воды в результате регулирования. Для более точного анализа необходимы суточные данные, однако месячные ряды уже позволяют выявить общую тенденцию.

5.5 Практическое значение результатов и рекомендации

Практическое значение работы заключается в том, что полученные результаты показывают необходимость учета современных климатических условий при оценке водного режима реки Теча. Использование только усредненных исторических характеристик может привести к недооценке современных изменений сезонного распределения стока.

При выполнении гидрологических расчетов нужно регулярно обновлять исходные ряды наблюдений, анализировать не только годовые, но и месячные характеристики, а также проверять, какую фазу водности охватывает расчетный период.

Для мониторинга реки Теча следует уделять внимание зимним расходам, срокам начала весеннего подъема, характеристикам половодья, минимальному

стоку и данным о снежном покрове. Эти показатели наиболее чувствительны к современным климатическим изменениям.

Для дальнейших исследований рекомендуется использовать суточные расходы воды, сведения о снегозапасах, данные о работе гидротехнических сооружений и водохозяйственном регулировании. Это позволит точнее разделить климатический и антропогенный вклад в изменение водного режима.

Методика, использованная в данной работе, может быть применена к другим рекам Южного Урала, где также наблюдаются потепление, изменение осадков и трансформация сезонной структуры речного стока.

5.6 Научно-методическое обоснование полученных результатов

Полученные результаты необходимо рассматривать в системе представлений инженерной гидрологии о норме стока, изменчивости водности и вероятностной природе гидрологических характеристик. Средний годовой расход воды, максимальные и минимальные расходы, месячные расходы и даты сезонных фаз формируются под влиянием большого числа факторов, поэтому их целесообразно рассматривать как случайные величины или элементы случайных процессов.

Гидрометеорологические характеристики требуют статистической обработки, поскольку точное определенное описание всех факторов формирования стока невозможно. В данной работе этот подход реализован через расчет средних значений, коэффициентов вариации, асимметрии, эмпирических обеспеченностей и статистических критериев сравнения периодов.

Норма годового стока является важнейшей расчетной характеристикой. Однако в условиях современного изменения климата и антропогенной трансформации бассейна понятие нормы требует осторожного применения. Если физико-географические или водохозяйственные условия изменяются, среднее за прошлый период может не полностью соответствовать современному режиму.

Поэтому в работе использовалась не только оценка средних многолетних расходов, но и сравнение базового и современного периодов. Такой подход

позволяет выявить, насколько современные значения отличаются от условий второй половины XX века, принятой в гидрометеорологической практике как один из ориентиров климатической нормы.

Метод разностных интегральных кривых важен потому, что он позволяет выявить циклы водности. Без такого анализа рост или снижение средних значений может быть ошибочно интерпретирован как устойчивый тренд. В действительности часть изменений может быть связана с естественным чередованием многоводных и маловодных фаз.

Для реки Теча разностные интегральные кривые показали выраженную неоднородность водности во времени. Это указывает на необходимость использовать несколько взаимодополняющих методов анализа: графический, статистический, вероятностный и физико-географический.

Внутригодовое распределение стока является не менее важным показателем, чем годовой сток. Два года с близкими годовыми расходами могут иметь совершенно разную сезонную структуру. Для водопользования, экологического состояния русла и оценки межени критически важно знать, в какие месяцы формируется основная часть годового стока.

В работе показано, что современное изменение режима выражается не только в увеличении средних годовых расходов, но и в изменении месячных расходов. Это означает, что трансформация имеет структурный характер и затрагивает сезонную организацию водного режима.

Научно-методическая ценность работы состоит в сочетании классических методов гидрологических расчетов и современных статистических критериев. Классические методы обеспечивают сопоставимость результатов с нормативной практикой, а статистические критерии позволяют количественно проверить гипотезу об изменении распределений.

Применение непараметрических критериев оправдано тем, что гидрологические ряды часто не подчиняются нормальному закону распределения, содержат выбросы и характеризуются асимметрией. Поэтому

критерии, не требующие строгого предположения о нормальности, позволяют получить более устойчивые выводы.

Методы круговой статистики особенно полезны для анализа сезонности, поскольку месяцы года образуют циклическую шкалу. Переход от декабря к январю не является разрывом процесса, и обычные линейные методы не всегда корректно отражают сезонный характер гидрологических данных.

Таким образом, использованная методическая схема соответствует задачам прикладной гидрологии и позволяет комплексно рассмотреть современный водный режим реки Теча.

5.7 Достоверность результатов и ограничения исследования

Достоверность результатов обеспечивается использованием фактических рядов гидрологических и метеорологических наблюдений, применением общепринятых расчетных формул и сопоставлением нескольких независимых показателей. Выводы сделаны не по одному графику или одному критерию, а по совокупности расчетов.

Гидрологические данные представлены двумя постами - Муслюмово и Першинское. Сходство основных тенденций по этим постам повышает надежность выводов. Если бы изменения наблюдались только в одном створе, их можно было бы объяснить локальной причиной. Наличие сходной картины на двух постах говорит о более устойчивом характере изменений.

Климатические данные представлены двумя метеостанциями - Аргаяш и Бродокалмак. Такой прием дает возможность оценить пространственную согласованность климатических изменений. На обеих станциях выявлено повышение температуры воздуха, что является важным фоном для интерпретации изменения стока.

Применение статистических критериев позволило количественно проверить различия между периодами. Это снижает субъективность анализа, поскольку вывод о различиях основан не только на визуальном сопоставлении графиков, но и на расчетных значениях p-value.

В то же время исследование имеет ограничения. Первое ограничение связано с антропогенной трансформацией бассейна. Река Теча не является полностью естественной рекой, поэтому изменение стока нельзя объяснять только климатом. Влияние регулирования, водохозяйственной деятельности и изменения русловых условий может быть существенным.

Второе ограничение связано с использованием годовых климатических рядов. Годовые суммы осадков и среднегодовая температура сглаживают сезонные различия. Для более точного анализа влияния климата на половодье необходимо использовать зимние осадки, запасы воды в снеге, температуру марта-апреля и сроки перехода температуры через 0 С.

Третье ограничение связано с месячным временным шагом расходов. Среднемесячные данные хорошо отражают общую сезонную структуру, но не позволяют подробно анализировать экстремальные паводки, даты начала половодья, продолжительность подъема и спада. Для таких задач нужны суточные расходы воды.

Четвертое ограничение состоит в том, что статистическая значимость различий не всегда означает прямую причинно-следственную связь. Если распределения различаются, это показывает факт изменения, но причины изменения должны интерпретироваться с учетом физико-географических и водохозяйственных условий.

Несмотря на указанные ограничения, результаты работы можно считать успешными. Использованные данные позволяют выявить основные изменения водного режима, а выбранные методы соответствуют методическим требованиям прикладной гидрологии.

Для повышения достоверности будущих исследований рекомендуется расширить исходную базу за счет суточных расходов, данных о снежном покрове, сведений о водохозяйственном регулировании, водозаборах и сбросах, а также сезонных климатических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы дана комплексная оценка водного режима реки Теча в современных климатических условиях Южного Урала. Исследование выполнено на основе гидрологических рядов по постам Муслюмово и Першинское, а также метеорологических данных станций Аргаяш и Бродокалмак. Такой набор исходной информации позволил рассмотреть сток не изолированно, а во взаимосвязи с температурным режимом и атмосферными осадками.

Физико-географический анализ показал, что бассейн реки Теча расположен в зоне, где формирование стока в значительной степени зависит от снежного питания. Весеннее половодье остается ведущей фазой водного режима, однако его роль в годовом распределении расходов воды в современных условиях становится менее однозначной из-за изменения зимних температур, характера осадков и антропогенного регулирования.

Расчет статистических характеристик среднегодовых расходов позволил установить межгодовую изменчивость стока и выделить периоды повышенной и пониженной водности. Разностные интегральные кривые показали, что в рядах наблюдений присутствуют циклические колебания, которые необходимо учитывать при интерпретации современных тенденций. Это важно, поскольку кратковременное уменьшение или увеличение стока не всегда может рассматриваться как устойчивый климатический тренд без проверки на фоне многолетней цикличности.

Анализ температуры воздуха и атмосферных осадков подтвердил, что климатические условия бассейна обладают выраженной межгодовой изменчивостью. Наиболее значимым для гидрологического режима является изменение холодного периода года: рост температуры зимой может приводить к увеличению числа оттепелей, изменению структуры снежного покрова и перераспределению части стока из весеннего периода в зимне-осенний.

Исследование внутригодового распределения расходов воды показало, что современный режим характеризуется снижением сезонной концентрации стока.

Это означает, что сток становится менее сосредоточенным в ограниченный период весеннего половодья и более равномерно распределяется по месяцам. Данный результат имеет важное прикладное значение, поскольку изменение сезонной структуры водности влияет на оценку водообеспеченности, меженного стока и водохозяйственных режимов.

Статистическая проверка различий между базовым и современным периодами подтвердила наличие значимых изменений формы внутригодового распределения. При этом интерпретация результатов показывает, что ключевой особенностью является не столько резкий сдвиг месяца максимального стока, сколько уменьшение контрастности сезонного цикла и перераспределение расходов воды внутри года.

Антропогенный фактор для реки Теча имеет самостоятельное значение. Регулирование стока и хозяйственная трансформация бассейна могут усиливать или маскировать климатические сигналы. Поэтому выводы о современных изменениях водного режима следует рассматривать как результат совместного действия природных и техногенных причин.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования при дальнейшем мониторинге водного режима реки Теча, оценке изменений водных ресурсов и разработке рекомендаций для водохозяйственного планирования. Для повышения надежности выводов в дальнейшем целесообразно расширить анализ за счет суточных расходов воды, характеристик снегозапасов, дат ледовых явлений и дополнительных метеорологических показателей.

Таким образом, поставленная цель достигнута: выявлены особенности многолетней и внутригодовой изменчивости стока реки Теча, выполнена оценка влияния современных климатических условий и показано, что основным проявлением трансформации режима является изменение сезонной структуры водности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990.

2. Владимиров А.М., Дружинин В.С. Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.

3. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. - СПб.: РГГМУ, 2007.

4. Сикан А.В., Винокуров И.О., Дрегваль М.С. Учебное пособие по дисциплине «Гидрологические расчеты». Часть I. - СПб.: РГГМУ, 2021.

5. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. - М.: Госстрой России, 2004.

6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. - Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007.

7. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. - СПб.: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007.

8. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. - СПб.: Нестор-История, 2009.

9. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984.

10. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.

11. Гидрологические ежегодники. Данные наблюдений по постам бассейна реки Теча.

12. Материалы гидрологических наблюдений по постам Муслюмово и Першинское.

13. Материалы метеорологических наблюдений станций Аргаяш и Бродокалмак.

14. Река Теча: справочные и историко-географические материалы.

15. Материалы о бассейне реки Теча и антропогенной трансформации водного режима.

16. Климатические изменения и водные ресурсы: научно-методические материалы. - М.: Росгидромет.

17. Методы анализа временных рядов в гидрологии: учебные и научные публикации.

18. Рекомендации по статистической обработке гидрометеорологических рядов наблюдений.

19. Материалы научных публикаций по изменению речного стока в условиях современного климата.

20. Материалы открытых гидрологических и климатических справочников по Южному Уралу.