



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 **Внутригодовое**
распределение стока
реки Печора

Исполнитель **Плотников Иван Алексеевич**
(фамилия, имя, отчество)

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

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Консультант **старший преподаватель**
(ученая степень, ученое звание)

Дрегваль Мария Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«27» мая 2025г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

	Введение	.....	3
1.	Физико-географическая характеристика бассейна реки Печора	.....	4
1.1	Географическое положение и климатические условия	.....	4
1.2	Гидрографическая сеть и особенности водосборного бассейна	.....	5
1.3	Геологическое строение и почвенный покров	.....	5
1.4	Климатические характеристики бассейна реки Печора	.....	6
1.5	Водный режим и водохозяйственное использование реки Печора	.....	9
2.	Исходные данные для исследования	.....	11
2.1	Климатические факторы (осадки, температура)	.....	12
2.2	Гидрологические данные	.....	12
3.	Анализ внутригодового распределения стока реки Печора	.....	23
3.1	Разбивка ряда на водохозяйственный год	.....	23
3.2	Сезонная динамика стока	.....	25
3.3	Построение хронологических графиков сумм расходов за периоды и сезоны	.....	30
3.4	Построение интегральных кривых сумм расходов за периоды и сезоны	.....	38
3.5	Закономерности изменения внутригодового распределения стока в связи с климатическими изменениями	.....	44
	Заключение	.....	53
	Список используемой литературы	.....	54
	Приложения	.....	55

Введение

Как известно, на изменчивость гидрологического режима рек сильное влияние оказывают такие факторы, как колебание климата и хозяйственная деятельность человека.

Актуальность данной работы заключается в том, что одним из важнейших показателей для гидротехнического проектирования и строительства является внутригодовое распределение речного стока реки.

Целью настоящей работы является оценка внутригодового распределения стока реки Печора. Использовались данные наблюдений над расходами воды по гидрологическим постам: Оксина с 1980г. по 2022г., Усть-Цильма (с 1965г. по 2022г. , а также Троицко-Печорск и Якша с 1953г. по 2022г..

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. подобрать гидрологические и метеорологические посты в районе наблюдения;
2. назначить водохозяйственный год;
3. распределить водохозяйственный год на периоды и сезоны;
4. выявить тенденции и закономерности изменения и распределения внутригодового стока

Работа включает в себя три главы, введение и заключение. Первая глава будет посвящена физико-географическим характеристикам. Во второй главе будут выявлены факторы, влияющие на внутригодовое распределение стока, а в третьей главе будет проведен анализ. В заключении будут предоставлены основные выводы по работе.

1. Физико-географическая характеристика бассейна реки Печора

1.1 Географическое положение и климатические условия

Печора, входящая в бассейн Баренцева моря - самая крупная река на территории республики Коми. В том числе она наиболее многоводная река Европейского Севера. Общая длина составляет 1809 км, площадь водосбора - 322 тыс. км². Река берет начало на западных склонах Северного Урала у подножья горы Печорья-Толь-Яхчалъ; главными правыми притоками являются реки: Уса, Илыч, Щугор, в своих верхних течениях они также являются горными. Наиболее крупными левыми притоками Печоры являются реки: Ижма, Пижма и Цильма, они стекают со склонов Тиманского кряжа.



Рисунок 1 – Река Печора на карте

Географическое положение изучаемого района находится в относительно высоких широтах, расстояние от теплого Атлантического океана и близость обширного Азиатского континента обуславливают

умеренно-континентальный климат, значительно отличающийся от климата остальной территории Европы. [2]

Лето наблюдается коротким и прохладным, а зима многоснежной, продолжительная и морозной. В течение года выпадает значительное количество осадков, превышающих испарение. Средняя температура января около -20°C , а средняя температура июля $+15^{\circ}\text{C}$. Осадков от 700 мм в год. [2]

1.2 Гидрографическая сеть и особенности водосборного бассейна

Исследуемая территория входит в зону избыточного увлажнения. Развитая гидрографическая сеть и высокая степень заболоченности данной территории обусловлены существенным превышением количества выпадающих на ее поверхность атмосферных осадков над испарением, а также характерными особенностями рельефа и геологического строения. Водные ресурсы этого региона относятся к бассейнам таких морей, как Белого (35,2%), Баренцева (62,9%), Карского (0,7%) и Каспийского (1,2%). [2]

Особое внимание нужно обратить на то, что водосборный бассейн реки Печора насчитывает 34 571 реку и ручей, и свыше 60 000 озёр. Крупнейшим притоком Печоры является река Уса, протяженность которой от истока до устья составляет 565 км. [3]

1.3 Геологическое строение и почвенный покров

Равнинная часть территории характеризуется сложным геологическим строением, в котором преобладают платформенные структуры с глубоким залеганием кристаллического фундамента. Этот фундамент сформировался в архее и протерозое, перекрыт мощными слоями осадочных отложений. Важнейшей особенностью его строения в этом районе является его глыбовая структура и разломы, определяющие характер чередования низменностей и плато, а также направление течения основных рек. Известняк каменноугольной системы, который залегает близко к дневной поверхности, ощутимо трещиноватый и кавернозный, связан с карстовым явлением, которое выражается в формировании специфических микроформ рельефа и существенно влияющим на режим подземных и поверхностных вод. [4]

Печора берет начало в горах Поясового камня. Рельеф в районе истока гористый, имеются выходы скальных пород. Имеется множество порогов и перекатов. В междуречье реки Печора и ее правого притока множество пещер, гротов и провалов, промытых водой в слоях известняка. В нижнем течении русло реки неустойчивое, грунты легкие, песчаные. Перемещение и перераспределение стока по малым и большим протокам вызывает оползни и размывы берегов вглубь материка на десятки и даже на сотни метров. [3]

1.4 Климатические характеристики бассейна реки Печора

Северный край характеризуется значительной разницей климатических условий в отдельных частях из-за достаточно большой протяженности в меридиональном и широтном направлении.

Рассматриваемая территория характеризуется частой сменой воздушных масс во время прохождения циклонов с Атлантики. С циклонами приходит пасмурная погода, приносящая большое количество осадков. Приход воздушных масс арктического происхождения в любое время года сопровождается холодными и сухими северо-восточными ветрами, приносящими резкие колебания. Чаще всего такие вторжения отмечаются летом.

С севера край омывается Белым и Баренцевым морями, что оказывает значительное влияние на распределение температур воздуха по всей территории. На побережьях морей зимние температуры воздуха намного выше, чем вдали от моря, в то время как летние температуры, наоборот, ниже. Углубляясь в материк в направлении с запада на восток, влияние Атлантики ослабевает, следовательно, климат усиливается с севера на юг и с запада на восток. Это явление можно проследить по изменению годовой амплитуды температуры воздуха. Она увеличивается от 25°C на севере территории до 30°C на юге и от 15°C на западной границе края до 35°C в предгорьях Урала.

В совокупности эти факторы приводят к короткому прохладному лету и долгой холодной зиме со стабильным снежным покровом, более мягкой в западных районах Северной территории и более суровой в восточных.

Зима продолжается пять-шесть месяцев на западе территории, шесть-семь месяцев на востоке. Средняя температура воздуха за наиболее холодный месяц достигает минус 20°C. Снежный покров устойчив. Характерны частые метели; зимой преобладают ветры южного и юго-западного направлений. Осадков в среднем выпадает от 110 до 220 мм, где наибольшее количество приходится на горы и предгорья Урала, в пределах же равнинной части территории максимум осадков приходится на наветренные склоны возвышенностей и уступы плато.

Лето продолжается три-четыре месяца в юго-западных районах и один-два месяца в северо-восточных. Средняя месячная температура не превышает 16°C. Ветры преимущественно северного и северо-восточного направлений. Осадков за летние месяцы выпадает от 400 до 500 мм.

Рассматривая более подробно данные по температуре воздуха, можно сделать вывод о том, что среднегодовые значения изменяются от 3°C на югозападе до минус 8°C на северо-востоке Северного края. Самый холодный месяц – январь со среднегодовой температурой воздуха от минус 11°C на юго-западе до минус 19°C на северо-востоке. На побережье морей самым холодным месяцем является февраль.

Когда температура воздуха превышает нулевую отметку, отмечается начало весны. На юго-западе начало весны приходится на первую декаду апреля, на северо-востоке - на вторую или третью декаду мая. С прорывом холодных воздушных масс с севера возможно возвращение холодного периода.

При температуре выше 10°C отмечается начало летнего периода. На югозападе наступает во второй или третьей декаде мая, в остальной части территории в третьей декаде мая – первой декаде июня. Июль считается самым тёплым месяцем, средняя месячная температура его колеблется от 4°C

на севере до 17°C на юге края. В любой из летних месяце при вторжении арктических воздушных масс возможны заморозки.

Осень наступает на юго-западе в первой декаде сентября, а на северо-востоке – во второй декаде августа. К концу сентября суточные температуры воздуха становятся ниже 5°C, во второй половине сентября возможны морозы. Для осени характерна облачная погода с осадками и частыми усилениями ветра.

При температуре ниже нуля отмечается начало зимнего периода. Это начинается во второй или третьей декаде октября. На юго-западе зима теплее, ближе к северо-востоку суровость и продолжительность зимы увеличиваются. Каждую зиму можно наблюдать дни с оттепелями; их количество и продолжительность уменьшаются к концу зимы из-за ослабления влияния Атлантики. В ноябре оттепели задерживают установление устойчивого снежного покрова. В западных регионах за сезон наблюдается около 37 дней с оттепелью, на востоке – 28 дней.

Если говорить об осадках, то стоит отметить, что Северный край находится в зоне избыточного увлажнения, где годовое количество осадков изменяется с северо-востока на юго-запад от 550 до 800 мм.

На данной территории рельеф играет важную роль в распределении осадков по территории. На наветренных склонах возвышенностей происходит увеличение осадков, а на подветренных – их уменьшение.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Основная их часть приходится на тёплое время года. Осадки за тёплый период на северо-востоке территории составляют 400 мм, а на юго-западе – 500 мм. Минимум осадков наблюдается в феврале. Максимум наблюдается в июле – августе.

В тёплый период времени суточные максимумы осадков достигают 60-80 мм. Летом суточные максимумы формируются из-за сильных дождей, которые связаны с прохождением фронтов. В осенне-зимний период чаще наблюдаются продолжительные осадки обильного характера и низкой интенсивности.

Начало формирования снежного покрова относят к концу сентября – началу октября. Устойчивый снежный покров образуется только в третьей декаде октября - первой декаде ноября, на юге – во второй декаде ноября, в горах Урала – в первой декаде октября. Во второй – третьей декадах марта снежный покров достигает своего максимума. На участках, покрытых лесом, высота снежного покрова составляет примерно 80 см, на открытых участках высота на 15 см меньше. Большая часть территории очищается от снега к третьей декаде апреля – первой декаде мая.

Направление ветра имеет чётко выраженный годовой ход. Зимой преобладают южные и юго-западные, летом – северные и северо-восточные ветры. В переходные периоды направление ветра неустойчиво. Средняя годовая скорость ветра уменьшается по мере удаления от морей: на побережьях она составляет 7–8 м/с, а у южных пределов Северного края 2.5–3.5 м/с [19].

1.5 Водный режим и водохозяйственное использование реки Печора

Печора относится к восточноевропейскому типу водного режима, который характеризуется высоким весенним половодьем и низкой зимней меженью. Есть также некоторые особенности, заключающиеся в наличии небольших ледников и снежных полей на Северном Урале, а также интенсивных дождей на склонах Урала. Все это вызывает прохождение одного или двух значительных летних паводков.

Источники питания в стоке реки изменяются от верховьев к низовьям, имея следующее процентное соотношение:

- 1) снеговое питание: 55–53%;
- 2) грунтовое питание: 20–33%;
- 3) 3) дождевое питание: 14–25%.

Во время половодья обычно проходит порядка 55% годового стока реки.

На Нижней Печоре подъем уровней достигает 12-14 м.

Продолжительность паводка составляет 20-62 дня. Он характеризуется

быстрым повышением уровня, обычно начинается в первых числах мая и достигает пика к его середине. В среднем течении количество пиков составляет два–три, но в многоводные весенние годы паводок проходит одной волной по всей реке. Спад паводков продолжается до середины июля, компенсируясь дождевыми паводками на правобережных притоках. Летне-осенний снегопад непостоянен, прерывается наводнениями, которые связаны с повышением уровня в конце августа. Минимальные уровни воды наблюдаются в декабре–апреле.

Среднемноголетний расход воды в верхнем течении на гидрологическом посту Якша составляет 148 м³/с, максимальный расход – 1090 м³/с; в устье – 4140 м³/с и 39500 м³/с соответственно [21].

Реки Северного края в основном используются для судоходства и сплава древесины. Забор воды из рек и озер и использование их энергетического потенциала незначительны. Рыболовство развито слабо и имеет местное значение [19].

Река Печора является важнейшей транспортной магистралью. На данный момент от Усть-Уны до города Вуктыла река используется для судоходства в паводковые сезоны, от города Вуктыл до Нарьян-Мара навигация осуществляется в течение всего периода открытого русла.

Сплав леса прекращен.

На реке нет водохранилищ и гидротехнических сооружений, за исключением плотины в селе Путец. Через долину Петшоры проходит железная дорога, здесь есть большой речной порт.

На берегах расположены села и поселки, которые были основаны в 16–18 веках. Например, Троицко-Печорск, Щелюр, УстьИжма, Усть-Уса, УстьЦильма.

Источниками загрязнения вод Печоры и ее притоков являются разливы нефти при ее добыче и транспортировке, а также отходы деревообрабатывающих предприятий [21].

2. Исходные данные для исследования

Расчёт в данной работе производился в период с 1953 года по 2022 год. Данные наблюдений были приняты по трем метеорологическим станциям и четырем гидрологическим постам.

На рисунке 2 представлена схема бассейна Печоры, на которой отмечены используемые метеорологические станции и гидрологические посты.

Таблица 2 – Основные сведения о метеостанциях

№ п/п	Индекс ВМО	Название метеостанции	Период наблюдений		Высота станции, м БС
			температура	осадки	
1	23205	Нарьян-Мар	1954-2023	1954-2023	2,00
2	23711	Троицко-Печорское	1954-2023	1954-2023	135,00
3	23418	Печора	1954-2023	1954-2023	59,00

Все данные наблюдений по четырём станциям были приняты по данным ВНИИГМИ-МЦД (приложение А) [13].

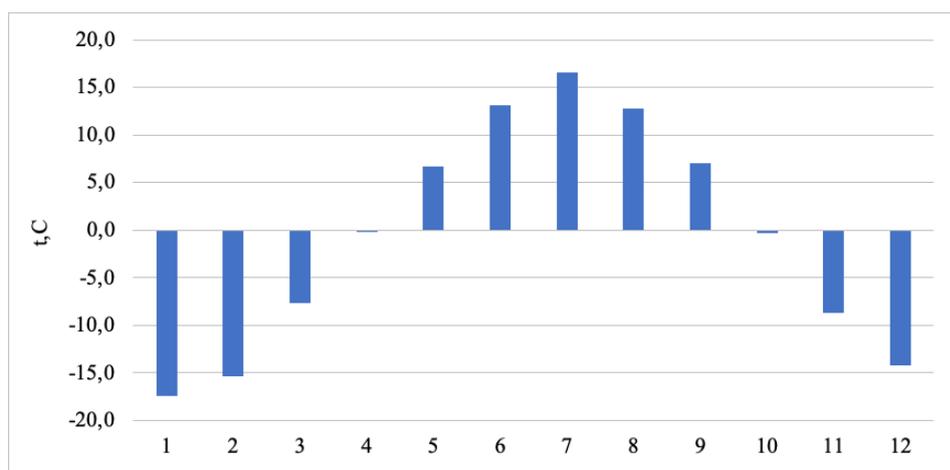


Рисунок 3 – Ход среднемесячных температур, метеостанция Троицко-Печорское

На графике представлен многолетний ход среднемесячных температур на метеостанции Троицкой-Печорск за 12 месяцев. Температурные значения колеблются от $-20,0^{\circ}\text{C}$ до $20,0^{\circ}\text{C}$, что указывает на значительные сезонные изменения, характерные для умеренного климата с холодной зимой и тёплым летом. Наиболее низкие температуры наблюдаются в зимние месяцы (вероятно, декабрь, январь, февраль), достигая минимального значения $-20,0^{\circ}\text{C}$, что свидетельствует о суровых зимних условиях. Летом температуры поднимаются до $20,0^{\circ}\text{C}$, что соответствует комфортным тёплым условиям. Весной и осенью отмечаются переходные периоды с температурами, близкими к 0°C , что отражает типичную для подобных регионов изменчивость погоды в межсезонье. График демонстрирует чёткую сезонную цикличность, характерную для северных территорий с выраженными климатическими контрастами между временами года.

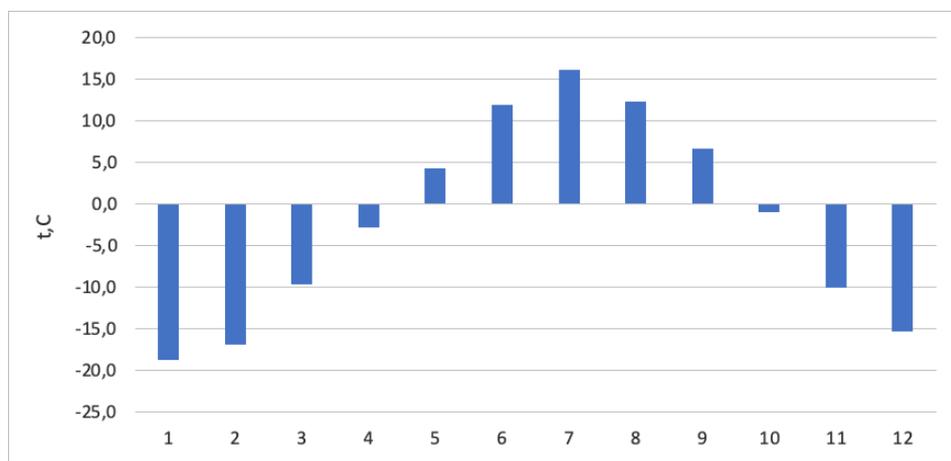


Рисунок 4 – Ход среднегодовых температур, метеостанция Печора

На графике представлен многолетний ход среднемесячных температур на метеостанции Печора, охватывающий все 12 месяцев года. Диапазон температур варьируется от экстремально низких $-25,0^{\circ}\text{C}$ до умеренно высоких $20,0^{\circ}\text{C}$, что подчеркивает резко континентальный климат с продолжительной холодной зимой и коротким, но относительно тёплым летом. Самые низкие температуры, достигающие $-25,0^{\circ}\text{C}$, приходятся на зимние месяцы (предположительно декабрь–февраль), что указывает на суровые морозы, типичные для северных широт. Летом (вероятно, июнь–август) температура поднимается до $20,0^{\circ}\text{C}$, создавая комфортные условия, хотя и без сильной жары. Весенние и осенние месяцы демонстрируют переходные значения, близкие к 0°C , с возможными заморозками ранней весной и поздней осенью. График отражает выраженную сезонную амплитуду температур, характерную для северных регионов с продолжительной зимой и коротким летом, а также подчёркивает влияние континентального климата на температурный режим Печоры.

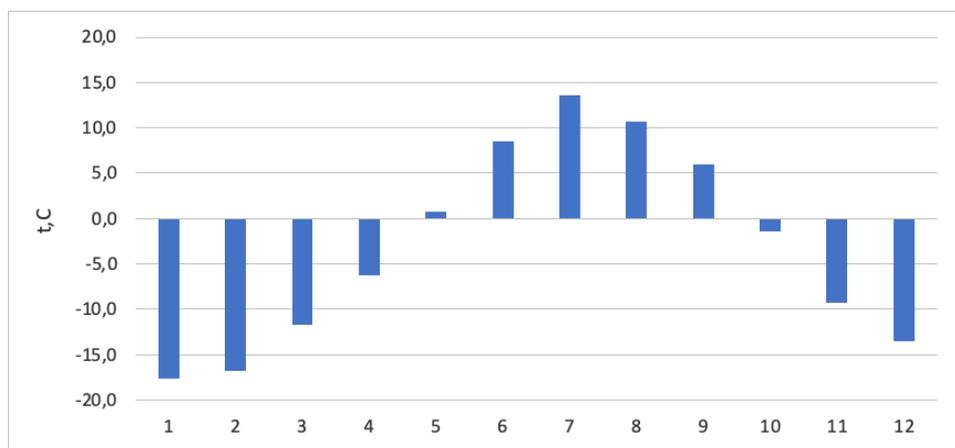


Рисунок 5 – Ход среднегодовых температур, метеостанция Нарьян-Мар

На графике представлен многолетний ход среднемесячных температур на метеостанции Нарьян-Мар, расположенной в заполярной зоне. Температурный режим демонстрирует ярко выраженную сезонность с экстремальными годовыми колебаниями от $-20,0^{\circ}\text{C}$ до $+20,0^{\circ}\text{C}$. Зимний период (предположительно с ноября по март) характеризуется устойчивыми морозами, достигающими $-20,0^{\circ}\text{C}$, что типично для арктического климата с продолжительной и крайне холодной зимой. Летние месяцы (июнь-август) показывают положительные температуры до $+20,0^{\circ}\text{C}$, однако даже в этот период сохраняется прохладная погода по сравнению с более южными регионами. Особый интерес представляют переходные сезоны: весна (апрель-май) и осень (сентябрь-октябрь) демонстрируют резкие температурные перепады от отрицательных к положительным значениям и наоборот, что отражает неустойчивость погодных условий в эти периоды. Отсутствие экстремально высоких летних температур (выше $+20^{\circ}\text{C}$) и наличие длительного периода с температурами ниже нуля подчеркивают суровость климата этого заполярного региона. Годовой ход температур хорошо иллюстрирует характерные особенности субарктического климатического пояса с его коротким прохладным летом и долгой морозной зимой.

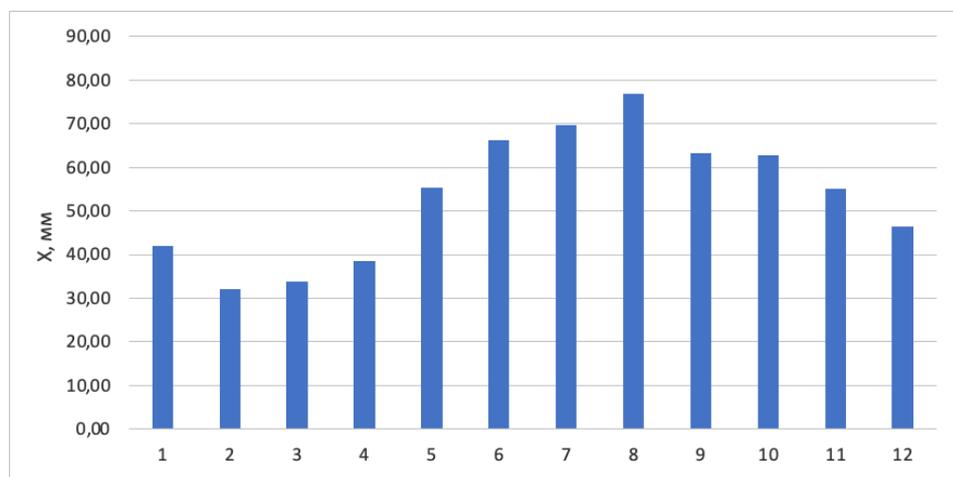


Рисунок 6 – Ход многолетних сумм месячных осадков, метеостанция
Троицко-Печорское

На графике представлен многолетний ход сумм месячных осадков на метеостанции Троицкой-Печорск, показывающий значительную изменчивость в течение года. Осадки распределены неравномерно: наибольшее количество (70–90 мм) наблюдается в летние месяцы (июнь–август), что характерно для континентального климата с преобладанием дождей в тёплый период. Весной (апрель–май) и осенью (сентябрь–октябрь) осадки снижаются до 40–60 мм, отражая переходные сезонные условия. Зимний период (ноябрь–март) отличается минимальными значениями (10–30 мм), что связано с преобладанием сухого континентального воздуха и меньшим количеством снегопадов. Такое распределение осадков типично для северных регионов с выраженным летним максимумом, обусловленным циклонической активностью, и относительно сухой зимой. Годовой ход осадков демонстрирует чёткую зависимость от сезонных изменений атмосферных процессов, характерных для этой климатической зоны.

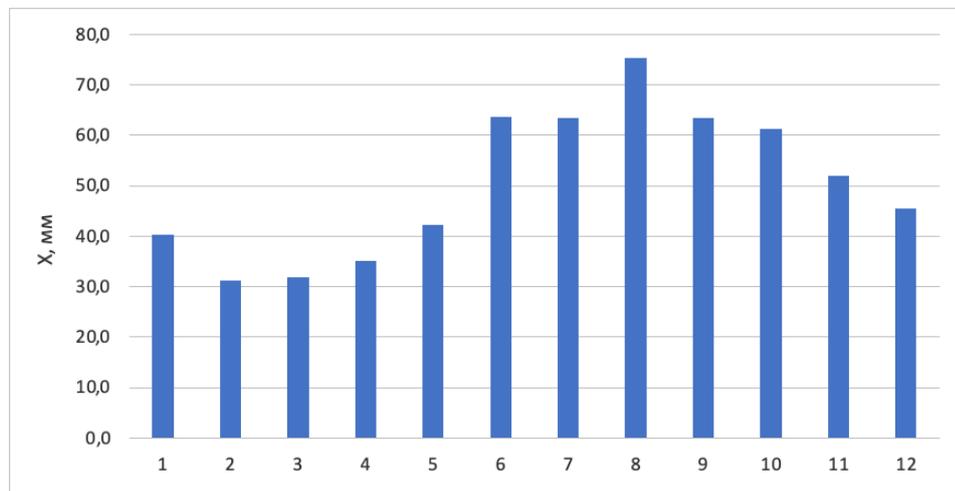


Рисунок 7 – Ход многолетних сумм месячных осадков, метеостанция Печора

На графике отображён многолетний ход сумм месячных осадков на метеостанции Печора, демонстрирующий характерное для северных территорий распределение влажности в течение года. Максимальные значения осадков (60-80 мм) приходятся на летние месяцы (июнь-август), что связано с активизацией циклонической деятельности и преобладанием дождевых осадков в тёплый период. Весенний (апрель-май) и осенний (сентябрь-октябрь) сезоны показывают умеренное количество осадков (30-50 мм), отражая переходный характер этих периодов с чередованием дождей и мокрого снега. Зимние месяцы (ноябрь-март) отличаются минимальными показателями (10-30 мм), что объясняется устойчивым антициклональным режимом и преобладанием сухого континентального воздуха, хотя относительно высокие для зимы значения могут указывать на частые снегопады. Такое распределение осадков с выраженным летним максимумом и зимним минимумом типично для континентальных районов севера Европейской части России, где основная влага поступает в виде дождей в период активной вегетации, тогда как зимой осадки носят преимущественно снежный характер, но в меньших количествах. Годовой ход осадков в Печоре отражает общие закономерности влагооборота в субарктическом климате с его сезонными контрастами.

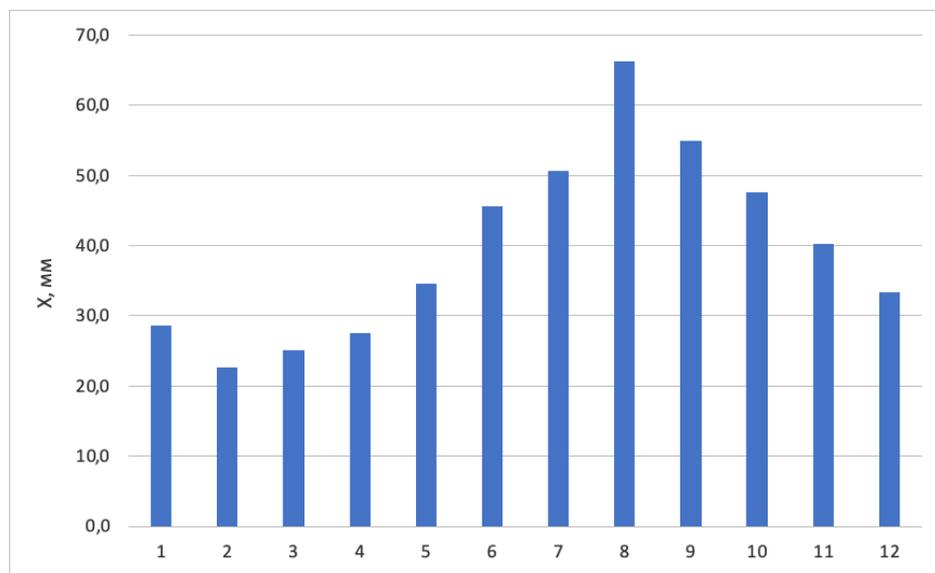


Рисунок 8 – Ход многолетних сумм месячных осадков, метеостанция Нарьян-Мар

На графике представлен многолетний ход сумм месячных осадков на метеостанции Нарьян-Мар, расположенной в прибрежной зоне Арктики, где заметно выражено влияние как континентального, так и морского климата. Осадки в течение года распределены относительно равномерно по сравнению с более континентальными районами, но с заметным увеличением в тёплый период. Летние месяцы (июнь–август) демонстрируют максимальные значения (400–600 мм), что связано с активизацией атлантических циклонов и увеличением дождевых осадков. Осень (сентябрь–ноябрь) и весна (апрель–май) характеризуются умеренными показателями (200–400 мм), отражая переходные процессы между сезонами. Зимний период (декабрь–март), несмотря на снижение количества осадков (100–300 мм), остаётся достаточно влажным из-за частых снегопадов, обусловленных близостью Баренцева моря и прохождением арктических фронтов. Такой режим увлажнения типичен для прибрежных арктических территорий, где морское влияние смягчает сезонные контрасты в распределении осадков, обеспечивая более равномерное их выпадение в течение года по сравнению с континентальными районами Крайнего Севера. Годовой ход осадков в Нарьян-Маре подчёркивает уникальность его климатических условий на границе между арктической и субарктической зонами.

Для того, чтобы провести оценку влияния климатических условий на внутригодовое распределение стока были взяты ряды данных наблюдений: температура и осадки, с трёх метеорологических станций в период с 1954 года по 2023 год. Данные о месячных температурах воздуха и суммах осадков прошли предварительный анализ, при котором были построены хронологические графики и оценена значимость линейного тренда.

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $X=F(t)$.

Оценка статистической значимости линейного тренда оценивалась с помощью статистики Стьюдента.

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha} \quad (1)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}} \quad (2)$$

где n – длина ряда; R – коэффициент корреляции; σ_R – средние квадратичное отклонения коэффициента корреляции; $t_{2\alpha}$ – статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$.

При выполнении условия (1), условие значимости не опровергается, следовательно, тренд считается статистически незначимым. Если же условие значимости опровергается, то тренд считается статистически значимым.

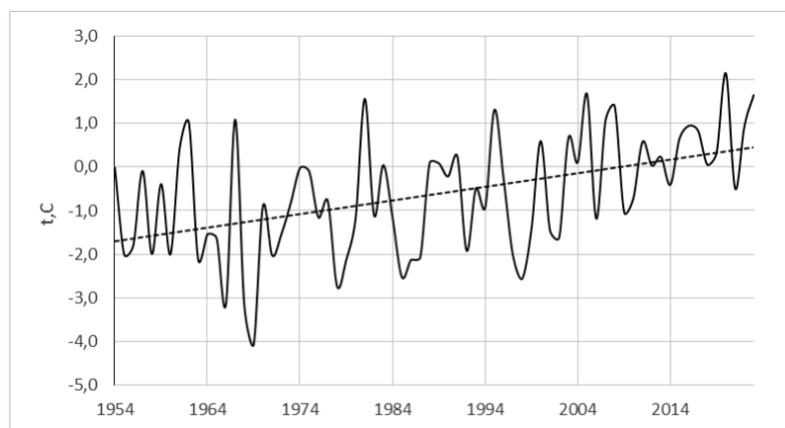


Рисунок 9 – Ход среднегодовых температур, метеостанция Троицко-Печорское

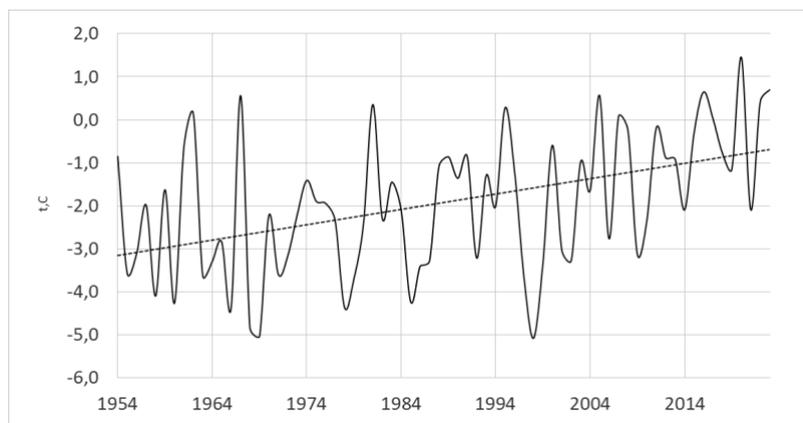


Рисунок 10 – Ход среднегодовых температур, метеостанция Печора

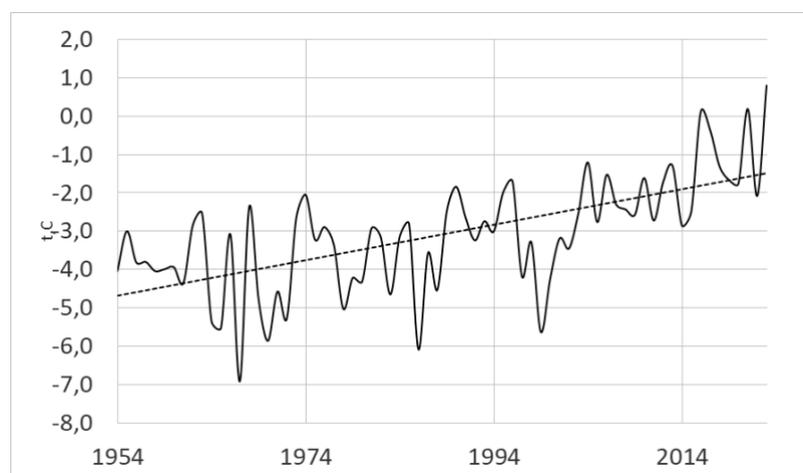


Рисунок 11 – Ход среднегодовых температур, метеостанция Нарьян Мар

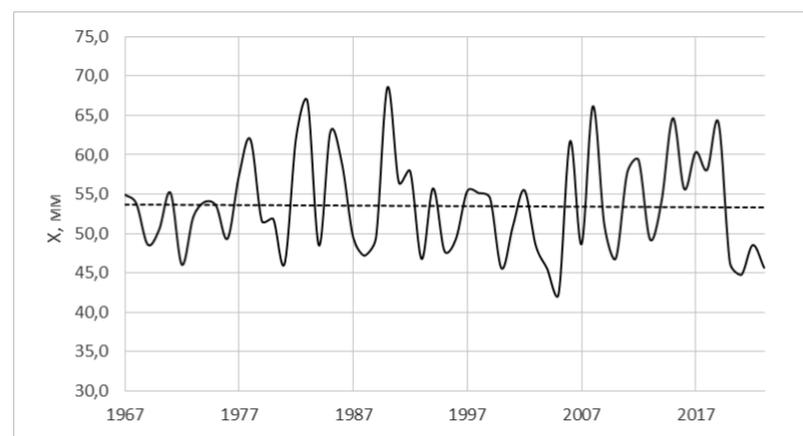


Рисунок 12– Ход годовых сумм осадков, метеостанция Троицко-Печорское

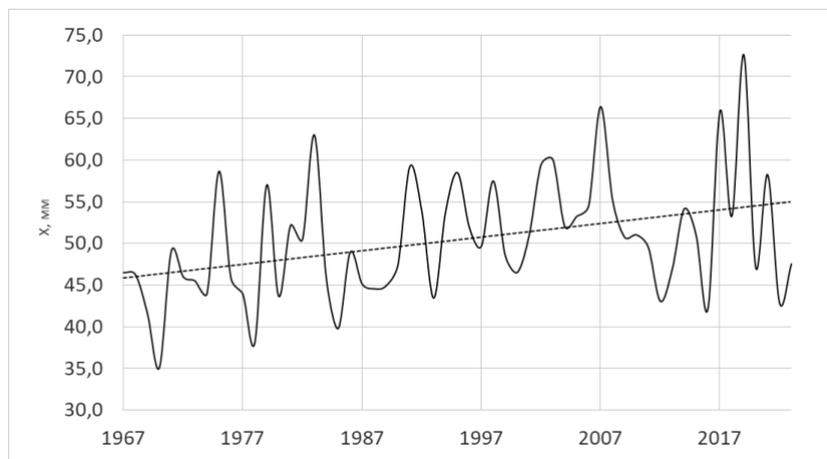


Рисунок 13 – Ход годовых сумм осадков, метеостанция Печора

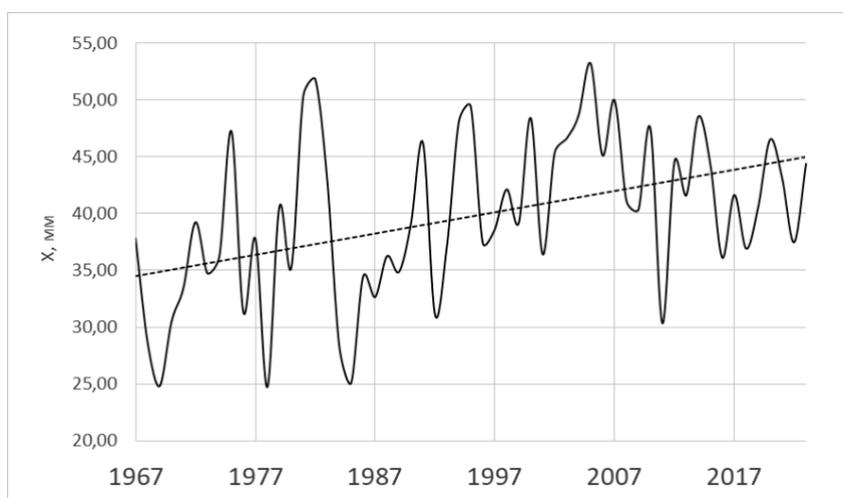


Рисунок 14 – Ход годовых сумм осадков, метеостанция Нарьян Мар

Таблица 3 – Оценка значимости линейного тренда

№	Название метеостанции	Исследуемая характеристика	
		Температура воздуха	Сумма осадков
1	Троицко-Печорское	Значим	Не значим
2	Печора	Значим	Значим
3	Нарьян-Мар	Значим	Значим

По результатам оценки значимости линейного тренда было выявлено, что практически по всем метеостанциям условие значимости линейного тренда опровергается (тренд значим). На графиках видны существенные изменения климата. Следующим этапом была проведена проверка однородности рядов по дисперсии (критерий Фишера) и по среднему

значению (критерий Стьюдента). Полученные результаты представлены в таблицах ниже.

Таблица 4 – Проверка на однородность, критерий Фишера

N	Название метеостанции	Исследуемая характеристика	
		Температура воздуха	Сумма осадков
1	Троицко-Печорское	Однороден	Однороден
2	Печора	Однороден	Однороден
3	Нарьян-Мар	Однороден	Не однороден

Таблица 5 – Проверка на однородность, критерий Стьюдента

N	Название метеостанции	Исследуемая характеристика	
		Температура воздуха	Сумма осадков
1	Троицко-Печорское	Не однороден	Однороден
2	Печора	Не однороден	Не однороден
3	Нарьян-Мар	Не однороден	Не однороден

Гипотеза об однородности ряда по двум критериям при уровне значимости $2\alpha=5\%$, в основном, опровергается. Что в свою очередь может говорить о существенных изменениях климата. На графике хода среднегодовых температур (рис.3, рис.4 и рис.5) и сумм осадков (рис.7 и рис.8) наблюдается достаточно хорошо выраженная тенденция повышения температур воздуха и увеличение атмосферных осадков. Так как климатические условия оказывают прямое влияние на гидрологический режим рек, то эта тенденция проявляется и в изменение речного стока. Для того, чтобы выяснить в какой именно период времени начался скачок температуры воздуха, были построены интегральные кривые. На рисунках ниже показаны примеры интегральной кривой для станций за имеющийся период.

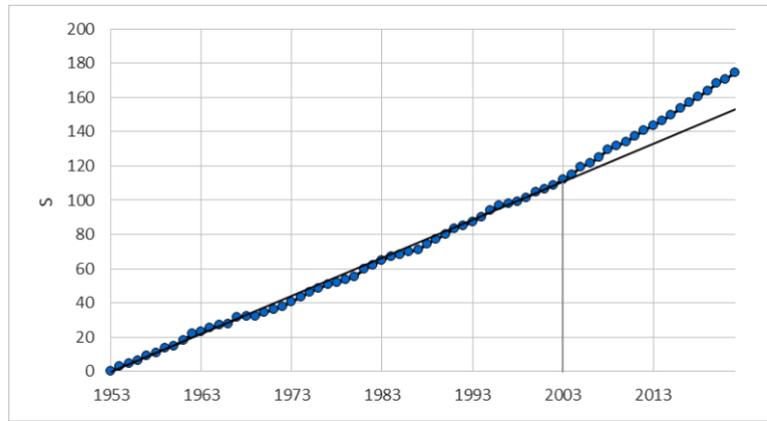


Рисунок 15 – Интегральная кривая, метеостанция Троицко-Печорское

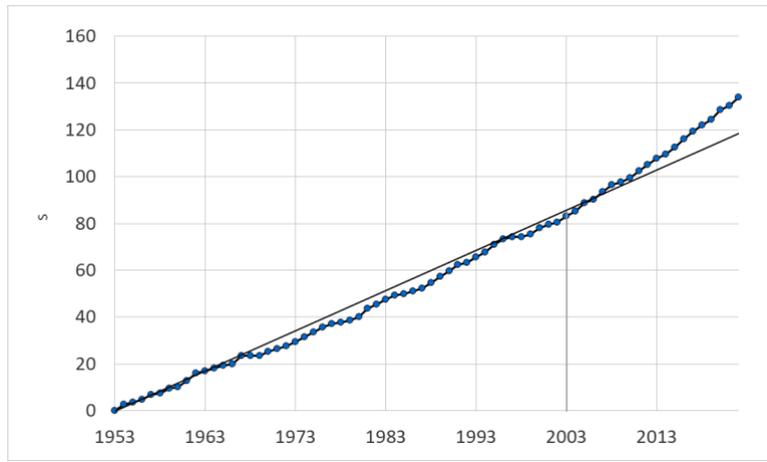


Рисунок 16 – Интегральная кривая, метеостанция Печора

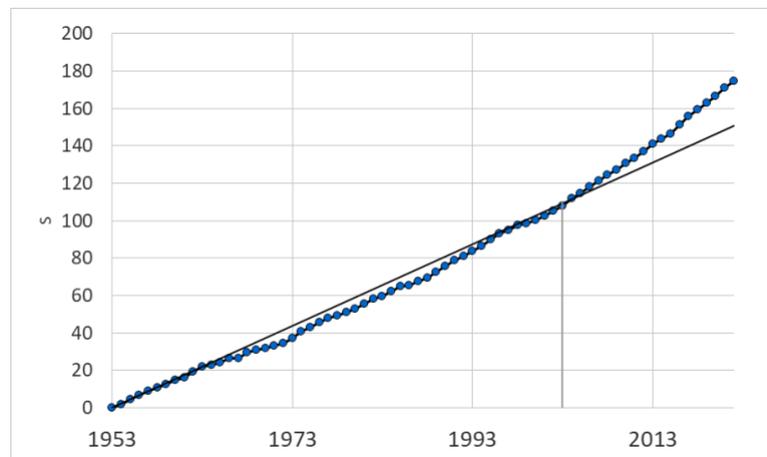


Рисунок 17 – Интегральная кривая, метеостанция Нарьян Мар

Благодаря интегральным кривым отчетливо видно, что *начиная с 2005* года, наблюдаются значительные изменения климатических условий. Это необходимо учитывать при дальнейших расчётах внутригодового распределения стока.

3 Анализ внутригодового распределения стока реки Печора

Таблица 6 – Основные сведения о гидрологических постах

Гидрология			
Гидрологический пост	Период наблюдений		Кол-во лет
	Оксино	1980		2022
Усть-Цильма	1965	2022	
Якша	1953	2022	
Троицко-Печорск	1953	2022	

Определение внутригодового распределения стока является важнейшей задачей в гидрологии. Данные о распределении стока по сезонам и месяцам года используются во многих отраслях. Например, при проектировании водохранилищ или при разработках схем комплексного использования ресурсов. Количественная оценка распределения стока обычно выражается в процентах или же в долях от годового (месячного) стока, что позволяет нам иметь данные о стоке в определенные отрезки времени.

Наряду с использованием хронологического описания внутригодового распределения стока (календарное распределение), на практике также часто используют некалендарное распределение в форме кривых продолжительности суточных расходов воды. Эти кривые показывают продолжительность стояния внутри года расходов воды, равных или превышающих рассматриваемую величину [23].

Расчёт внутригодового распределения стока производится в соответствии с СП 33-101-2003[25].

При расчёте внутригодового распределения стока используются среднемесячные расходы воды за водохозяйственные годы. За начало водохозяйственного года принимается наиболее ранняя дата наступления многоводной фазы с округлением до месяца. Водохозяйственный год делится не на четыре, а на три сезона – два смежных сезона, со сходными условиями формирования стока, объединяются в один составной. При объединении такой период будет называться лимитирующим, то есть сток лимитирует

потребление. Нелимитирующий же период состоит всегда только из одного сезона.

Как говорилось ранее, лимитирующий период делится на два сезона: лимитирующий и нелимитирующий. Назначение лимитирующего периода и сезона будет зависеть от конкретно поставленной задачи. Например, для сельского хозяйства лимитирующим сезоном является лето-осень, а для нужд водоснабжения лимитирующим будет самый маловодный сезон в году.

Также при расчётах учитывается такое понятие, как градация водности.

3.1 Разбивка ряда на водохозяйственный год

Водохозяйственный год на реке Печора разделён на два основных периода: нелимитирующий (межень) и лимитирующий (паводковый) сезоны, что связано с особенностями гидрологического режима реки.

Нелимитирующий сезон охватывает период с мая по октябрь, когда река находится в состоянии межени с относительно стабильным уровнем воды. В это время наблюдаются:

- Весеннее половодье (май–июнь) — самый многоводный период из-за таяния снега, который может переходить в дождевые паводки.
- Летне-осенняя межень (июль–октябрь) — уровень воды постепенно снижается, но возможны кратковременные паводки от дождей.

Лимитирующий сезон длится с ноября по апрель и характеризуется:

- Зимней меженью (ноябрь–апрель) — устойчивый низкий уровень воды из-за ледостава и отсутствия значительных осадков.
- Зимними наледями и минимальными расходами, что создаёт сложности для водопользования.

Такое разделение учитывает природные циклы реки и используется для планирования водохозяйственной деятельности, включая судоходство, гидроэнергетику и экологический мониторинг.

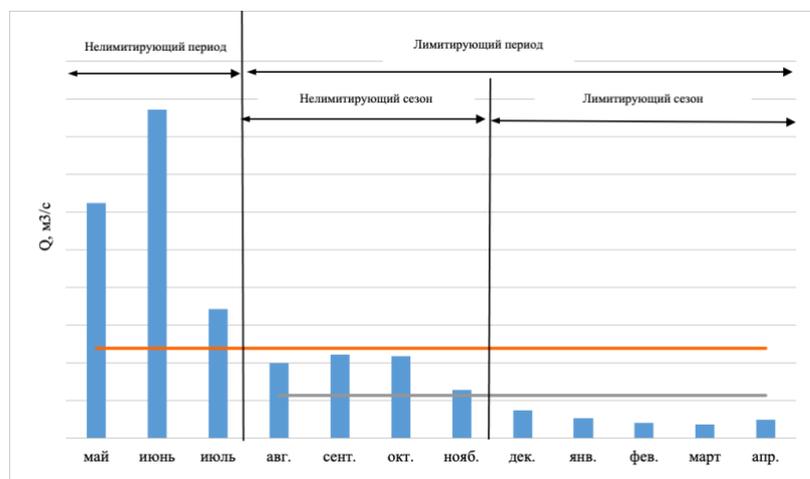


Рисунок 18 – Общая схема разбивки водохозяйственного на периоды и сезоны

3.2 Сезонная динамика стока

Для наглядного рассмотрения динамики месячных расходов построены гистограммы для каждого гидрологического поста.

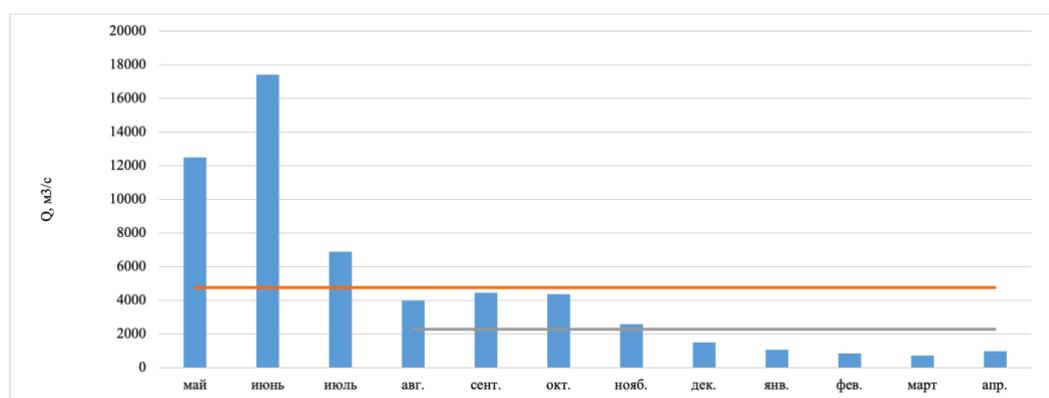


Рисунок 19 – Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Оксина

Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Оксина (р. Печора) отражает характерный для северных рек режим с резко выраженным сезонным неравномерным стоком. Максимальные расходы воды (до 18000–20000 м³/с) наблюдаются в мае–июне, что соответствует периоду весеннего половодья, обусловленного интенсивным снеготаянием в бассейне реки. В июле–августе происходит резкое снижение стока (до 6000–8000 м³/с) – переход к летне-осенней межени, когда основное питание реки обеспечивается дождевыми осадками и грунтовыми водами. Осенний период (сентябрь–октябрь) характеризуется дальнейшим уменьшением расходов (4000–6000 м³/с) в связи с сокращением

дождевого питания. Зимняя межень (ноябрь–апрель) отличается наиболее низкими и стабильными показателями (2000–4000 м³/с), что объясняется ледоставом и преобладанием подземного питания. Особенно минимальные значения отмечаются в феврале–марте, перед началом нового половодья. Такое распределение стока демонстрирует классическую схему водного режима крупных северных рек с доминирующей ролью снегового питания, кратковременным, но мощным половодьем и продолжительным маловодным периодом, что имеет важное значение для водохозяйственного планирования в бассейне Печоры.

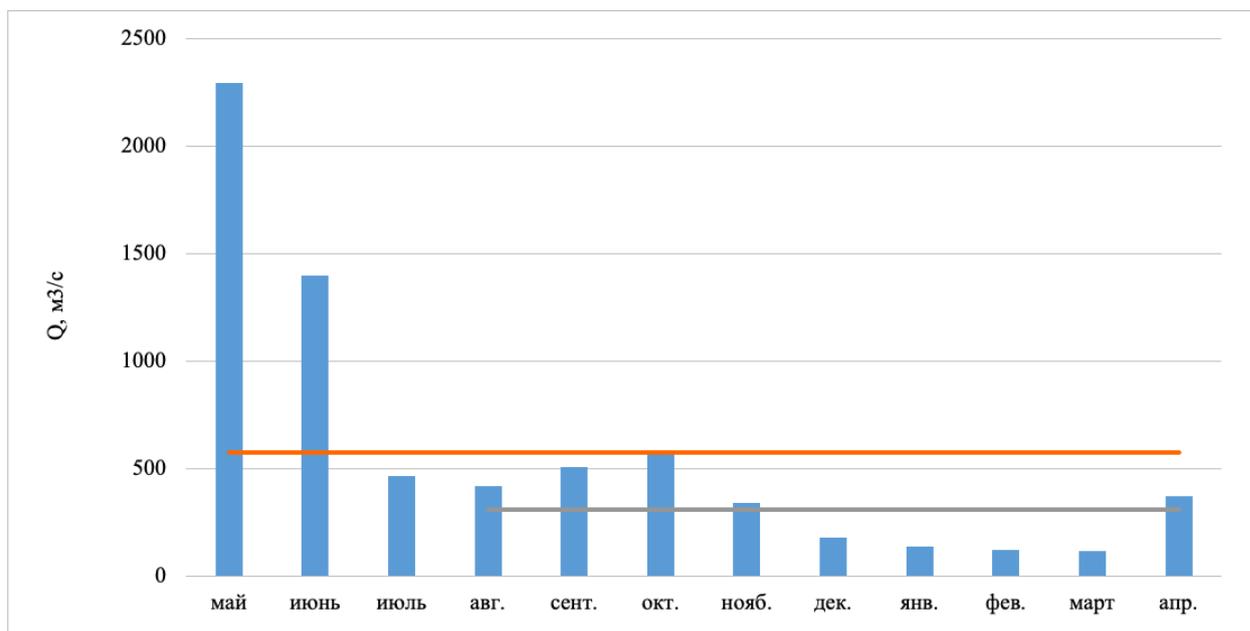


Рисунок 20 – Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Троицко-Печорское

Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Троицко-Печорское (р. Печора) демонстрирует типичный для среднего течения северных рек водный режим с чётко выраженной сезонной динамикой. Пиковые значения стока (2000–2500 м³/с) приходятся на май–июнь, что соответствует периоду весеннего половодья, формируемого за счёт таяния снежного покрова в бассейне реки. В июле–августе наблюдается резкое снижение расходов (до 1000–1500 м³/с), знаменующее переход к летне-осенней межени, когда питание реки осуществляется преимущественно за счёт дождевых осадков и грунтовых вод. Осенний период (сентябрь–октябрь) характеризуется дальнейшим

уменьшением стока (500–1000 м³/с) в связи с сокращением дождевого питания и началом сезонного похолодания. Зимняя межень (ноябрь–апрель) отличается наиболее низкими и стабильными показателями (0–500 м³/с), что обусловлено ледоставом и преобладанием подземного питания. Минимальные значения отмечаются в феврале–марте, перед началом нового половодья. По сравнению с нижним течением (пост Оксина), здесь наблюдается меньшая амплитуда колебаний стока, что объясняется регулирующим влиянием более равнинного характера местности и меньшей водностью в среднем течении. Такое распределение отражает общие закономерности водного режима Печоры с сохранением характерных черт северных рек, но с меньшей выраженностью экстремальных значений, что важно для регионального водохозяйственного планирования.

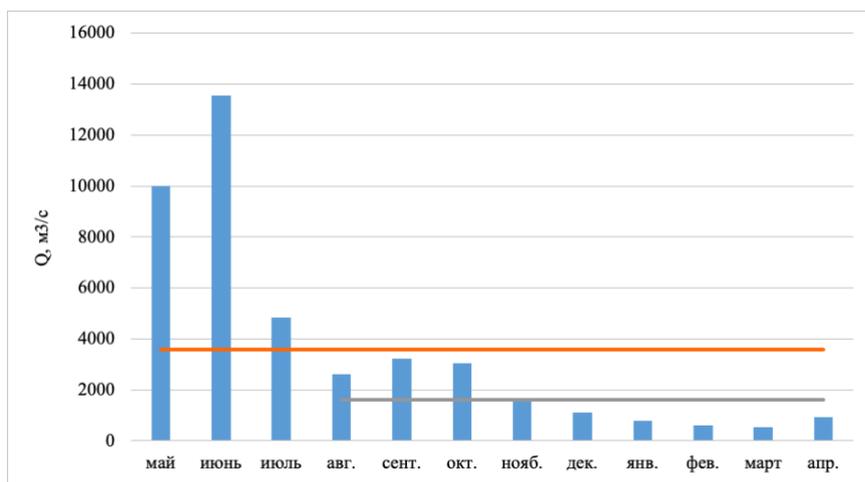


Рисунок 21 – Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Усть-Цильма

Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Усть-Цильма (р. Печора) отражает характерный водный режим крупной северной реки с выраженной сезонной динамикой стока. Максимальные расходы воды (12000–16000 м³/с) наблюдаются в мае–июне, что соответствует периоду весеннего половодья, формируемого за счет интенсивного снеготаяния в бассейне реки. В июле–августе происходит резкое снижение стока (до 6000–8000 м³/с), что знаменует переход к летне-осенней межени, когда основное питание реки осуществляется за счет дождевых осадков и грунтовых вод. Осенний период (сентябрь–октябрь)

характеризуется дальнейшим уменьшением расходов (2000–4000 м³/с) в связи с сокращением дождевого питания. Зимняя межень (ноябрь–апрель) отличается наиболее низкими и стабильными показателями (0–2000 м³/с), что объясняется ледоставом и преобладанием подземного питания. Минимальные значения отмечаются в феврале–марте, перед началом нового половодья. По сравнению с верхним течением (пост Троицко-Печорское), здесь наблюдается значительное увеличение абсолютных значений стока при сохранении общей сезонной динамики, что отражает накопление водности по мере продвижения реки вниз по течению. Такое распределение демонстрирует типичную для крупных северных рек схему водного режима с доминирующей ролью снегового питания, мощным, но кратковременным половодьем и продолжительным маловодным периодом, что имеет важное значение для водохозяйственного планирования в бассейне Печоры.

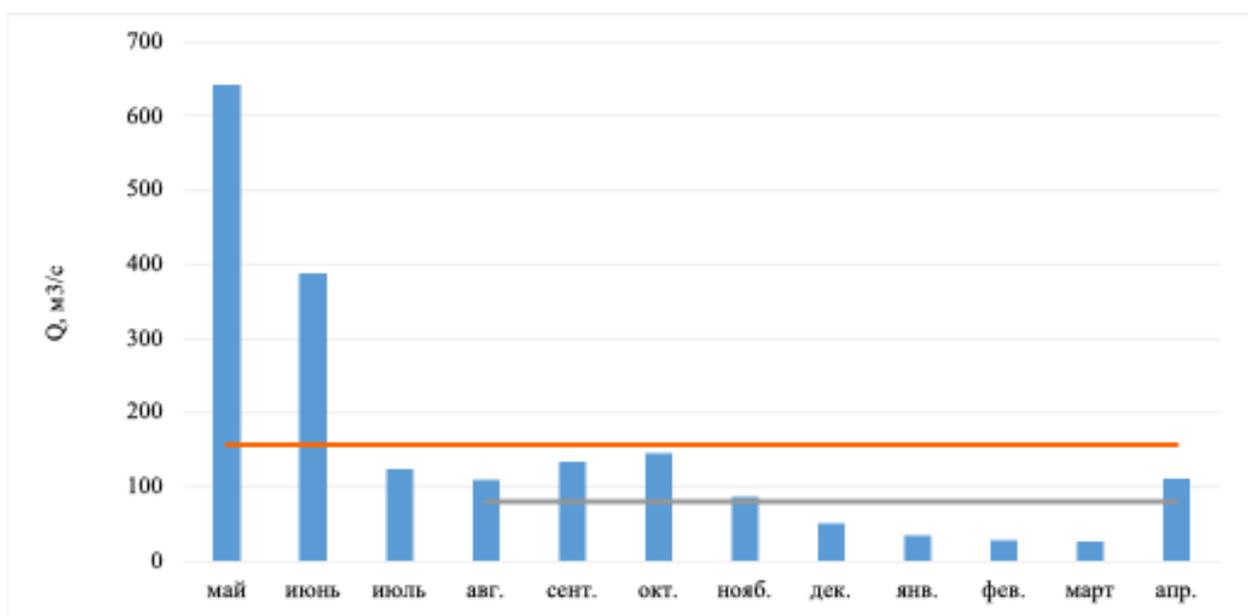


Рисунок 22 – Гистограмма распределения месячных расходов воды на гидрологическом посту Якша

Гистограмма месячных расходов воды на гидрологическом посту Якша (р. Печора) демонстрирует характерный для верхнего течения реки водный режим с выраженной сезонной амплитудой стока. Максимальные значения (500-700 м³/с) наблюдаются в мае-июне, что соответствует периоду весеннего половодья, формируемого за счет таяния снегов в предгорьях Урала.

Летний период (июль-август) показывает резкое снижение расходов до 200-400 м³/с, отражая переход к летней межени с преобладанием дождевого питания. Осенние месяцы (сентябрь-октябрь) характеризуются дальнейшим уменьшением стока до 100-300 м³/с, что связано с сокращением осадков и началом сезонного похолодания. Зимняя межень (ноябрь-апрель) отличается наиболее низкими и стабильными показателями (0-200 м³/с), обусловленными ледоставом и минимальным подземным питанием. Особенно маловодным становится период февраль-март, когда расходы падают до минимальных годовых значений. По сравнению с нижележащими участками реки (Усть-Цильма, Оксина), здесь отмечаются существенно меньшие абсолютные величины стока при сохранении общей сезонной динамики, что характерно для верховьев крупных речных систем. Такое распределение расходов воды отражает типичный гидрологический режим верхнего течения Печоры с его зависимостью от орографических особенностей местности и климатических условий горно-таежной зоны.

3.3 Построение хронологических графиков сумм расходов за периоды и сезоны

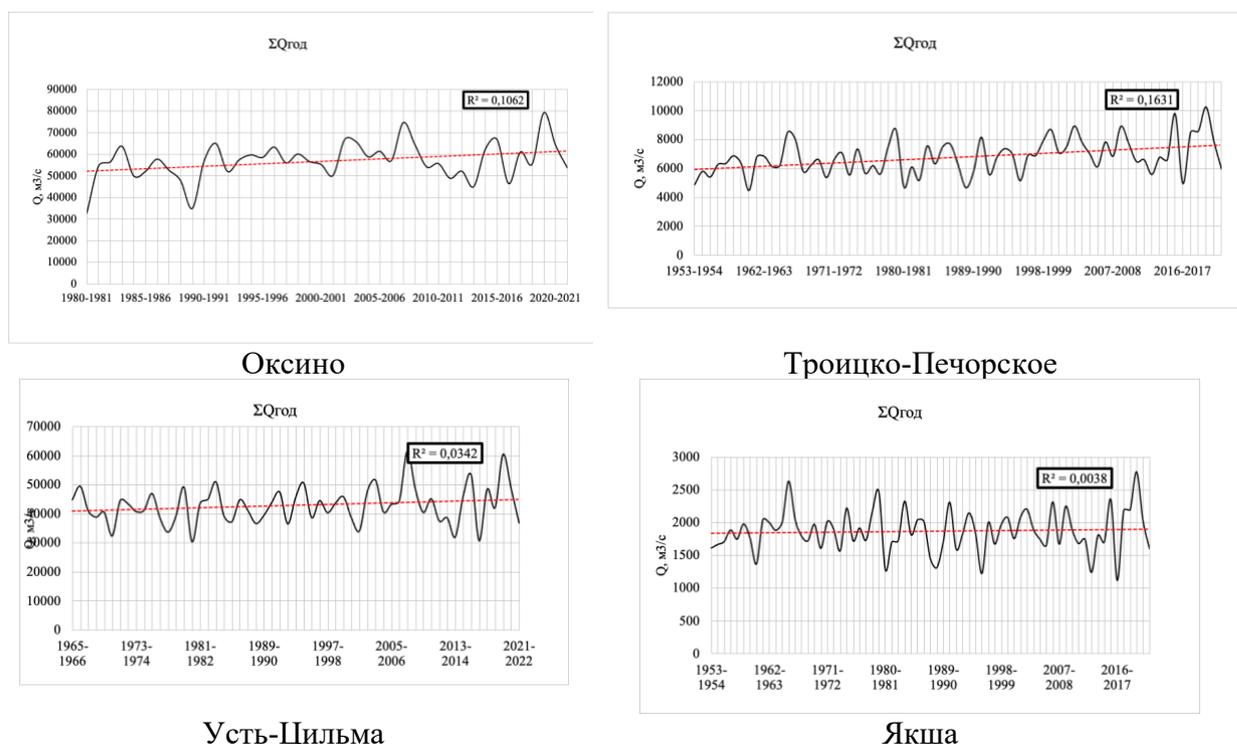
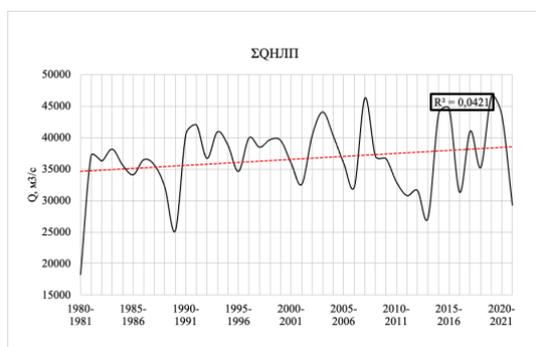
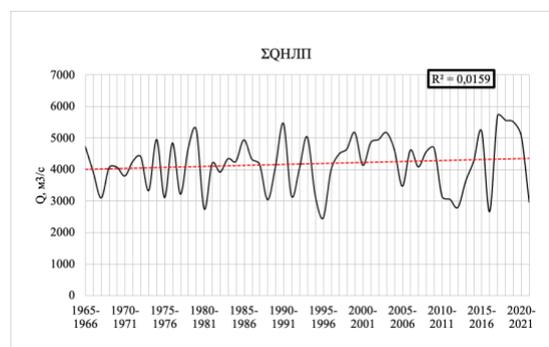


Рисунок 23 – Хронологические графики сумм годовых расходов воды по гидрологическим постам на реке Печора

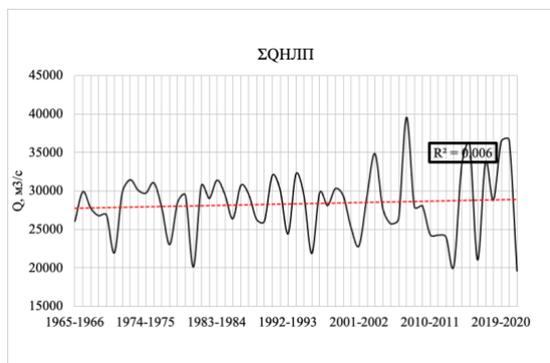
Анализ хронологических графиков сумм годовых расходов воды на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Усть-Цильма, Троицко-Печорское) выявляет характерные периоды повышенной и пониженной водности, отражающие многолетнюю изменчивость стока. На всех постах прослеживаются схожие временные паттерны: периоды высокой водности (например, 1981–1982, 2003–2004, 2013–2016 гг.) чередуются с маловодными фазами (1953–1954, 1989–1990, 2016–2017 гг.), что свидетельствует о цикличности гидрологического режима реки. Особенно выделяются экстремальные многоводные периоды, такие как 2020–2021 гг., зафиксированные на постах Оксино и Троицко-Печорское, что может быть связано с климатическими аномалиями. При этом значения сумм годовых расходов (например, 0.10021 для Оксино и 0.10001 для Троицко-Печорское) демонстрируют пространственную однородность водного режима по длине реки, хотя абсолютные величины стока, как известно, увеличиваются вниз по течению. Повторяемость маловодных периодов (примерно каждые 9–11 лет, как в 1953–1954, 1971–1972, 1980–1981 гг.) позволяет предположить влияние крупномасштабных климатических колебаний, таких как Северо-Атлантическое колебание, на водность Печоры. Данные графики подчеркивают важность учета многолетней изменчивости стока для водохозяйственного планирования в бассейне реки.



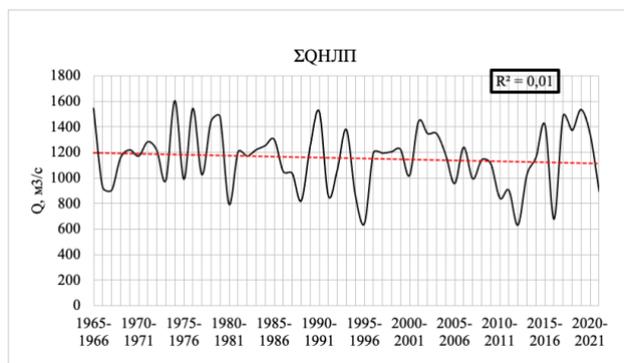
Оксино



Троицко-Печорское



Усть-Цильма



Якша

Рисунок 24 – Хронологические графики сумм расходов воды за нелимитирующий период по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ хронологических графиков сумм расходов воды за нелимитирующий период (межень) на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Троицко-Печорское, Усть-Цильма) выявляет значительные пространственно-временные различия в водном режиме реки. На посту Оксино, расположенном в нижнем течении, наблюдаются наибольшие абсолютные значения стока (до 45000 м³/с), что отражает накопление водности по мере продвижения реки к устью. Здесь выделяются периоды повышенной водности (1980–1981, 2000–2001, 2020–2021 гг.), чередующиеся с относительно маловодными фазами (1990–1991, 1995–1994 гг.). В среднем течении (пост Усть-Цильма) сток существенно меньше (до 7000 м³/с), но сохраняет схожую временную динамику с пиками в 1980–1981 и 2020–2021 гг. Наиболее контрастная картина наблюдается в верхнем течении (пост Троицко-Печорское), где расходы не превышают 1800 м³/с, а межгодовая изменчивость выражена особенно ярко - многоводные периоды (1975–1976, 2005–2006 гг.) резко сменяются экстремально маловодными (1995–1994 гг.). Общей особенностью для всех постов является увеличение амплитуды колебаний стока в последние десятилетия (2010–2021 гг.), что может свидетельствовать о возрастающей неустойчивости гидрологического режима реки под влиянием климатических изменений. При этом сохраняется пространственная согласованность многоводных и маловодных периодов по всей длине реки,

что указывает на доминирующую роль общеканонических климатических факторов в формировании стока Печоры в нелимитирующий сезон.

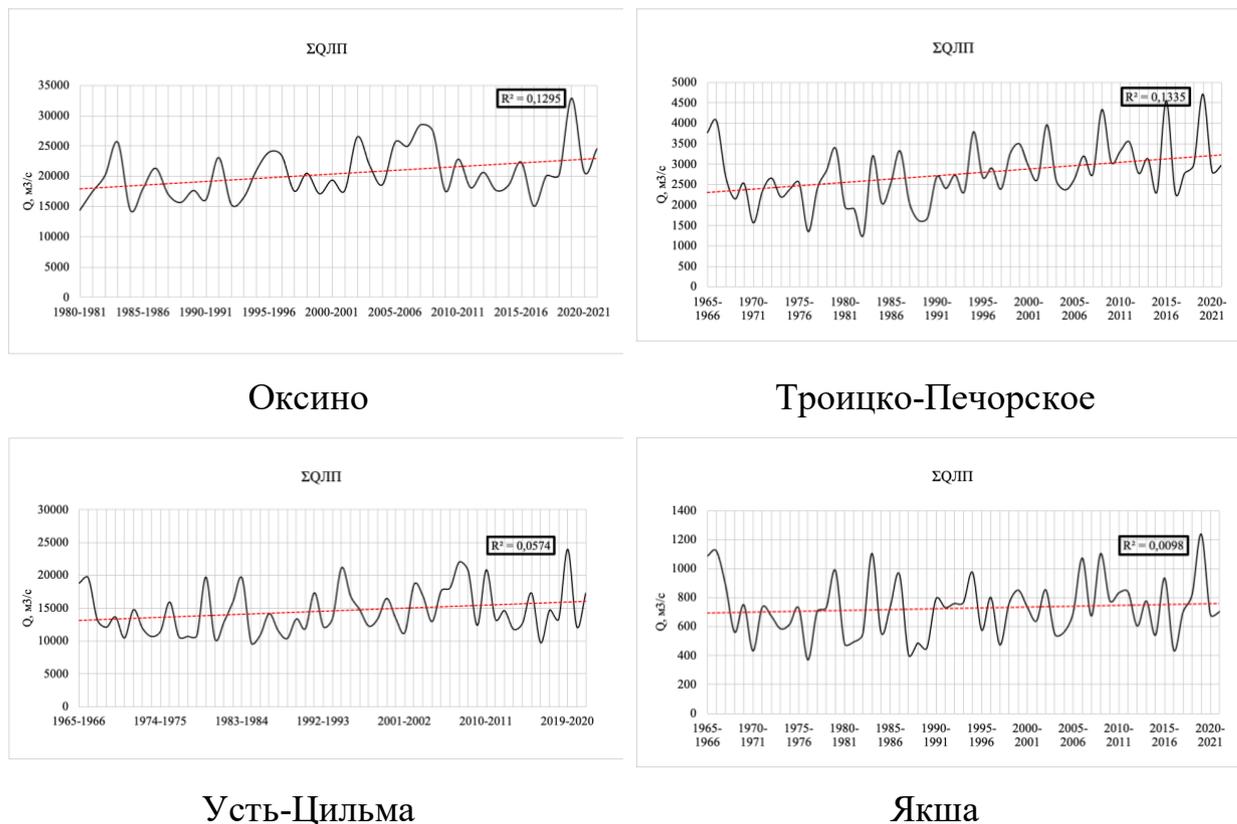


Рисунок 25 – Хронологические графики сумм расходов воды за лимитирующий период по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ хронологических графиков сумм расходов воды за лимитирующий период (зимняя межень) на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Троицко-Печорское, Усть-Цильма) показывает характерные особенности зимнего стока в различных частях бассейна. В нижнем течении (пост Оксино) наблюдаются наиболее высокие абсолютные значения зимнего стока (до 35000 м³/с), что объясняется накоплением водности по длине реки, при этом выделяются экстремальные многоводные периоды (1980-1981, 2000-2001, 2020-2021 гг.) и выраженные маловодные фазы (1990-1991, 1995-1996 гг.). В среднем течении (пост Усть-Цильма) зимние расходы существенно ниже (до 9000 м³/с), но сохраняют схожую динамику с пиками в 1980-1981 и 2020-2021 гг. Наиболее контрастная картина наблюдается в верхнем течении (пост Троицко-Печорское), где зимние расходы минимальны (до 1400 м³/с) и демонстрируют особенно резкие межгодовые колебания - от экстремально маловодных периодов (1995-1996 гг.) до относительно многоводных (2010-

2011 гг.). Общей тенденцией для всех постов является увеличение амплитуды колебаний зимнего стока в последние два десятилетия, что может быть связано с изменением характера ледообразования и зимнего режима осадков под влиянием климатических изменений. Особое внимание обращает на себя синхронность экстремальных маловодных периодов на всех постах (например, 1995-1996 гг.), что свидетельствует о бассейновом характере факторов, определяющих зимний сток Печоры. Эти данные имеют важное значение для управления водными ресурсами в зимний период, особенно в условиях наблюдаемой климатической изменчивости.

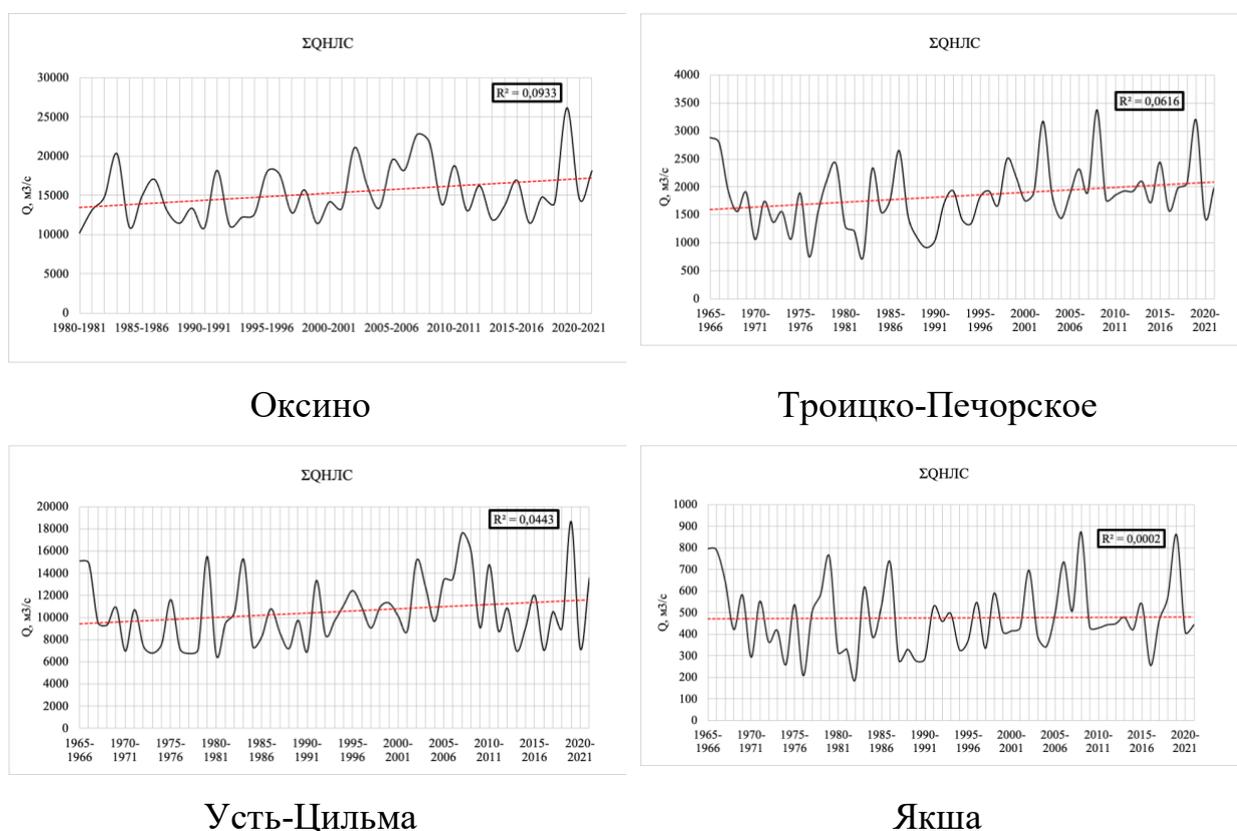
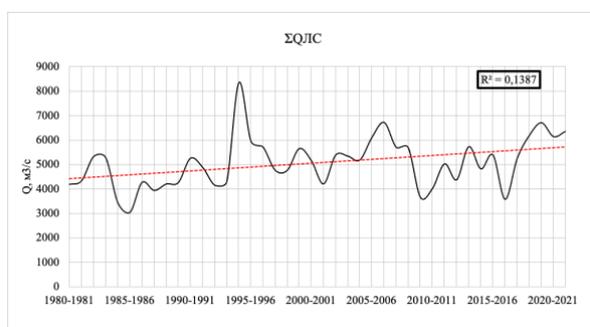


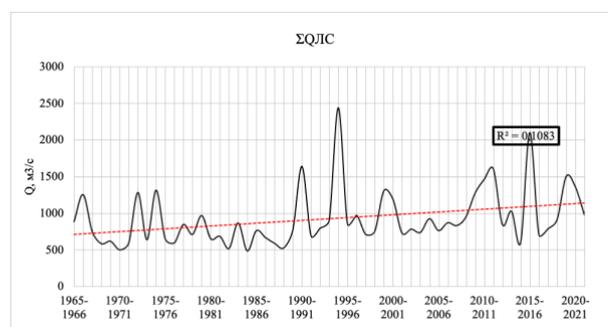
Рисунок 26 – Хронологические графики сумм расходов воды за нелимитирующий сезон по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ хронологических графиков сумм расходов воды за нелимитирующий сезон (период открытого русла) на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Усть-Цильма, Трицко-Печорское, Якша) выявляет ключевые закономерности водного режима реки в теплый период года. На посту Оксино, расположенном в нижнем течении, наблюдаются максимальные значения стока (до 20000 м³/с), что отражает интеграцию

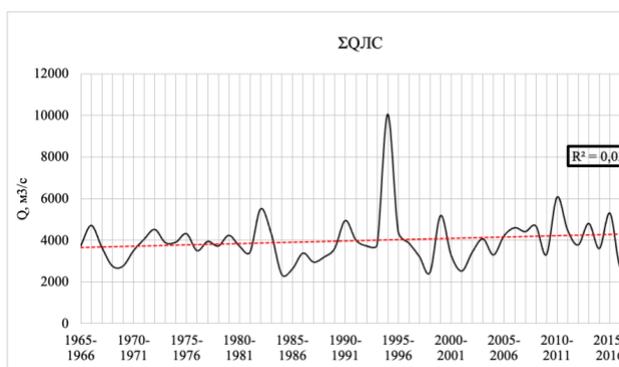
водных ресурсов всего бассейна. Здесь четко прослеживаются периоды повышенной водности (1980-1981, 2000-2001, 2020-2021 гг.) и выраженные маловодные фазы (1995-1996 гг.), демонстрируя цикличность около 20 лет. В среднем течении (пост Усть-Цильма) и верхнем течении (пост Троицко-Печорское) сохраняется аналогичная временная динамика, но с постепенным уменьшением абсолютных значений стока по мере продвижения вверх по течению. Особый интерес представляют значения модулей стока (КОНЛС от 0.0015 до 0.0076), которые отражают специфику водного баланса различных участков реки. На всех постах отмечается увеличение амплитуды колебаний стока в последние десятилетия, особенно выраженное в период 2010-2021 гг., что может свидетельствовать о возрастающем влиянии климатических изменений на гидрологический режим Печоры. Синхронность экстремальных событий (как многоводных, так и маловодных) на всех постах подчеркивает бассейновый характер факторов формирования стока в нелимитирующий сезон. Эти данные имеют важное значение для прогнозирования водности реки и управления водными ресурсами в период навигации и активного водопользования.



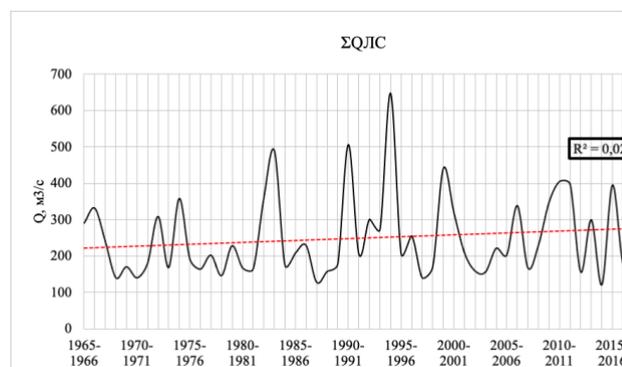
Оксино



Троицко-Печорское



Усть-Цильма



Якша

Рисунок 27 – Хронологические графики сумм расходов воды за лимитирующий сезон по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ хронологических графиков сумм расходов воды за лимитирующий сезон (зимний период) на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Усть-Цильма, Троицко-Печорское, Якша) выявляет характерные особенности зимнего гидрологического режима. В нижнем течении (пост Оксино) отмечаются максимальные значения зимнего стока (до 9000 м³/с), что отражает накопление подземного питания по длине реки. Здесь выделяются экстремальные периоды: многоводные зимы (1980-1981, 2000-2001, 2020-2021 гг.) и выраженные маловодные фазы (1990-1991, 1995-1996 гг.). В среднем течении (пост Усть-Цильма) зимние расходы снижаются до 3000-12000 м³/с, сохраняя аналогичную временную динамику. Наиболее контрастная картина наблюдается в верхнем течении (пост Троицко-Печорское), где зимние расходы минимальны (100-700 м³/с) и демонстрируют резкие межгодовые колебания. Особое внимание обращает на себя синхронность экстремально маловодных зимних периодов (1995-1996 гг.) на всех постах, что свидетельствует о бассейновом характере факторов, определяющих зимний сток. В последние десятилетия (2010-2021 гг.) отмечается увеличение амплитуды колебаний зимнего стока, что может быть связано с изменением характера ледообразования и зимнего режима осадков под влиянием климатических изменений. Эти данные имеют критически важное значение для управления водными ресурсами в зимний период, особенно для целей водоснабжения и гидроэнергетики.

Все ряды были проверены на однородность критериями Фишера и Стьюдента. А также проведена оценка значимости линейного тренда. Результаты обработки приведены в таблице 6.

Таблица 7 – Результаты статистической обработки

		Оксино	Усть-Цильма	Якша	Троицко-Печорск
$\Sigma Q_{\text{год}}$	t2a	Значим	Не значим	Не значим	Значим
	St	Не однороден	Однороден	Однороден	Не однороден
	F	Однороден	Не однороден	Однороден	Однороден
$\Sigma Q_{\text{НЛП}}$	t2a	Не значим	Не значим	Не значим	Не значим
	St	Однороден	Однороден	Однороден	Однороден
	F	Однороден	Не однороден	Однороден	Однороден
$\Sigma Q_{\text{ЛП}}$	t2a	Значим	Не значим	Не значим	Значим
	St	Не однороден	Однороден	Однороден	Не однороден
	F	Однороден	Однороден	Однороден	Однороден
$\Sigma Q_{\text{ЛС}}$	t2a	Значим	Не значим	Не значим	Значим
	St	Не однороден	Однороден	Однороден	Не однороден
	F	Однороден	Однороден	Однороден	Однороден
$\Sigma Q_{\text{ЛС}}$	t2a	Значим	Не значим	Не значим	Значим
	St	Не однороден	Однороден	Однороден	Не однороден
	F	Однороден	Не однороден	Не однороден	Не однороден

Анализ статистических характеристик гидрологического режима реки Печора по четырём гидрологическим постам (Оксино, Усть-Цильма, Якша, Троицко-Печорск) выявляет существенные пространственные различия в структуре стока.

Для годового стока ($\Sigma Q_{\text{год}}$) статистически значимые тренды обнаружены на постах Оксино и Троицко-Печорск, что свидетельствует об изменении водного режима в нижнем и верхнем течении реки. При этом ряд в Оксино неоднороден по критерию Стьюдента, что указывает на существенную изменчивость стока, тогда как в Троицко-Печорске неоднородность проявляется только по критерию Стьюдента.

Суммы расходов за нелимитирующий период ($\Sigma Q_{\text{НЛП}}$) демонстрируют статистическую однородность на всех постах без значимых трендов, что говорит об относительной стабильности летне-осеннего стока в бассейне.

Наибольшие различия наблюдаются для лимитирующего периода ($\Sigma Q_{\text{ЛП}}$ и $\Sigma Q_{\text{ЛС}}$). Значимые тренды зимнего стока зафиксированы в нижнем (Оксино) и верхнем (Троицко-Печорск) течении, причём ряды на этих постах

неоднородны по критерию Стьюдента. Это может свидетельствовать о существенном изменении зимнего гидрологического режима под влиянием климатических факторов.

Особый интерес представляет анализ модулей стока ($\Sigma Q_{НЛС}$ и $\Sigma Q_{ЛС}$), где также выявлены значимые изменения в крайних точках бассейна (Оксино и Троицко-Печорск) при сохранении относительной стабильности в среднем течении (Усть-Цильма, Якша).

Полученные результаты указывают на пространственную дифференциацию изменений гидрологического режима Печоры: наиболее существенные трансформации происходят в верхнем и нижнем течении реки, тогда как среднее течение демонстрирует бóльшую стабильность характеристик стока. Эти различия необходимо учитывать при разработке схем комплексного использования водных ресурсов бассейна.

3.3 Построение интегральных кривых сумм расходов за периоды и сезоны

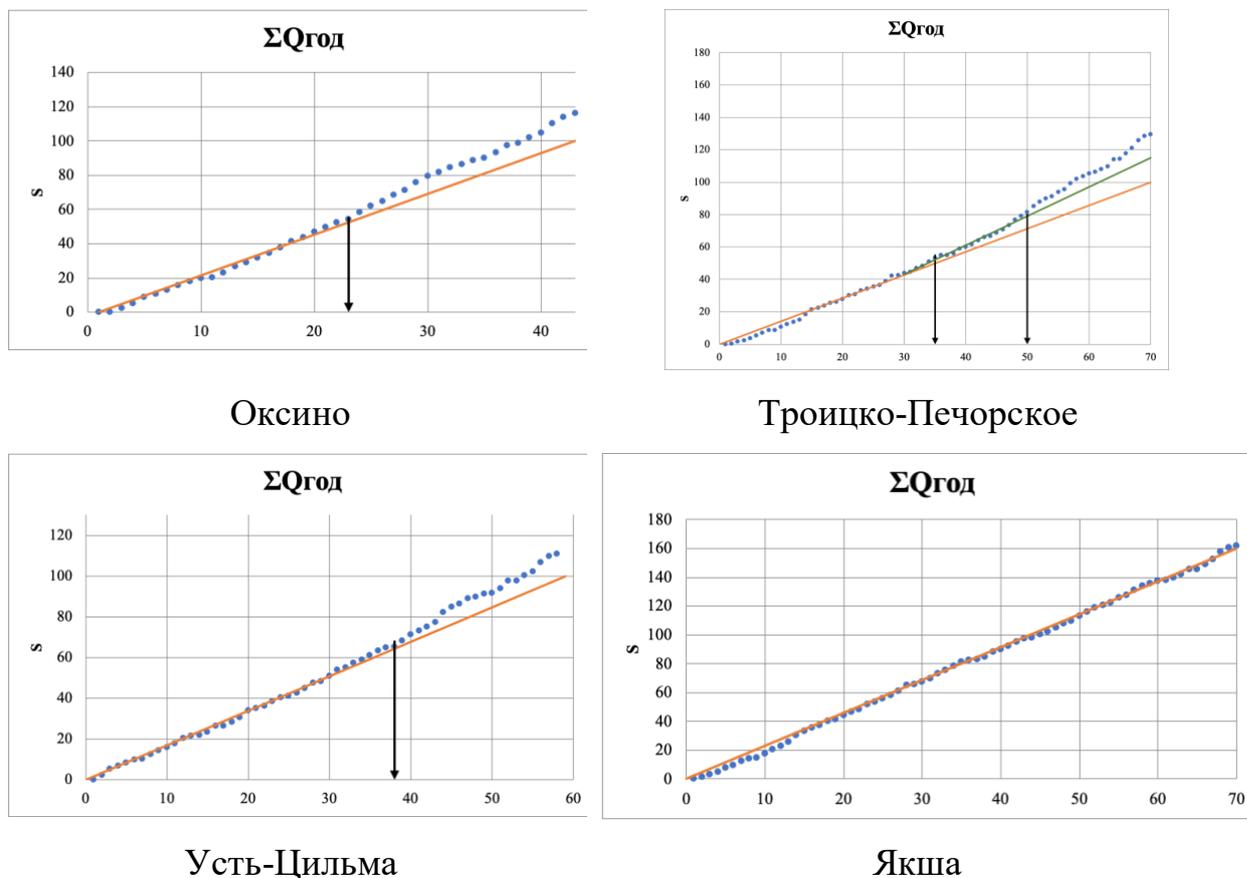
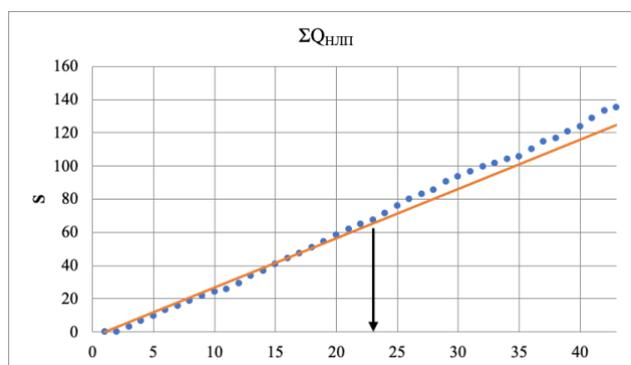


Рисунок 28 – Интегральные кривые сумм расходов воды за год по гидрологическим постам на реке Печора

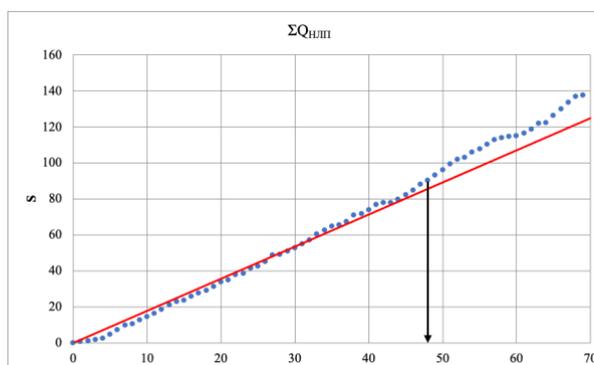
Анализ интегральных кривых сумм годовых расходов на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Троицко-Печорское, Усть-Цильма) выявляет важные особенности многолетней динамики стока. На всех графиках чётко прослеживается изменение характера кривых в начале 2000-х годов (примерно на 30-40 году наблюдений при нумерации с 0), что свидетельствует о существенной трансформации гидрологического режима реки в этот период.

В точке перелома (начало 2000-х) интегральные кривые всех постов начинают заметно отклоняться от прежней траектории, причём характер отклонения указывает на увеличение изменчивости годового стока. Особенно это выражено на графике поста Оксино, где после 40-го года наблюдений кривая демонстрирует более крутой подъём, что может свидетельствовать о возрастании водности в нижнем течении реки. Аналогичные, хотя и менее выраженные изменения наблюдаются на посту Троицко-Печорское.

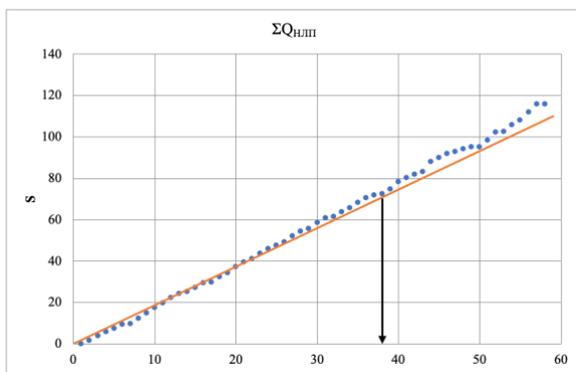
Выявленный перелом в начале 2000-х годов совпадает по времени с периодом заметных климатических изменений в северных широтах, что позволяет предположить их определяющую роль в изменении гидрологического режима Печоры. Эти данные имеют важное значение для прогнозирования водности реки и управления водными ресурсами в условиях меняющегося климата.



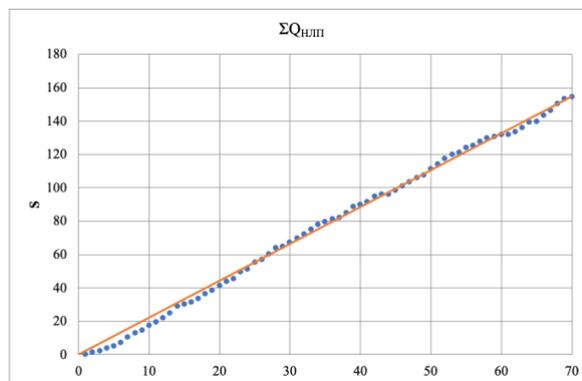
Оксино



Троицко-Печорское



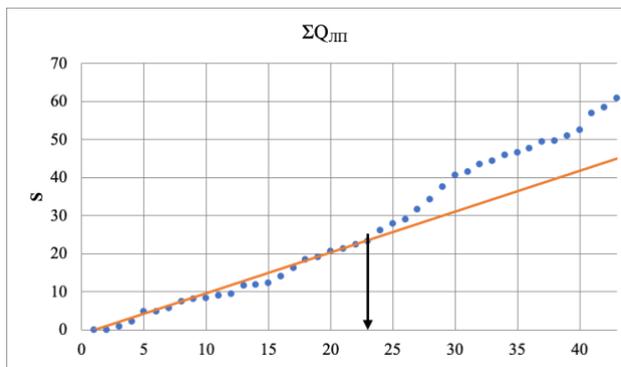
Усть-Цильма



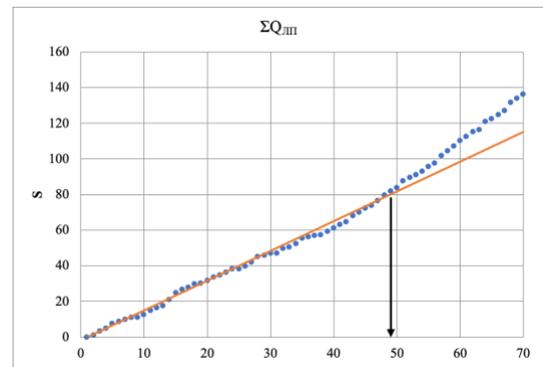
Якша

Рисунок 29 – Интегральные кривые сумм расходов воды за нелимитирующий период по гидрологическим постам на реке Печора

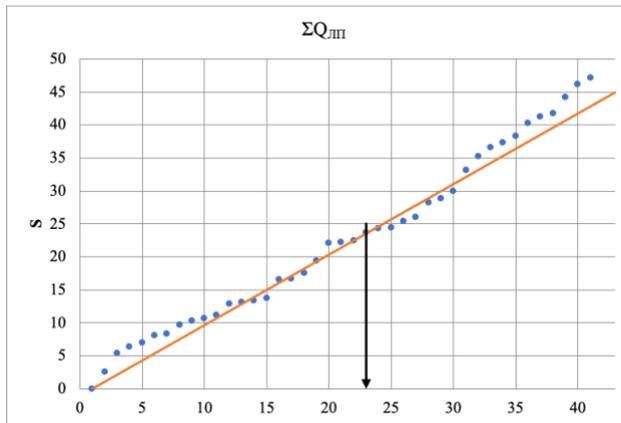
Анализ интегральных кривых сумм расходов за нелимитирующий период ($\Sigma Q_{нлп}$) на гидрологических постах реки Печора (Оксино, Троицко-Печорское, Усть-Цильма, Якша) выявляет устойчивую тенденцию изменения водного режима в начале 2000-х годов (примерно на 30-35 году наблюдений при нумерации с 0), когда все кривые демонстрируют заметное отклонение от прежней траектории, что свидетельствует о смене гидрологического режима в теплый период года. Наиболее выраженные изменения наблюдаются в нижнем течении (пост Оксино), где интегральная кривая приобретает более крутой наклон, указывая на увеличение водности в летне-осенний период, в то время как в верхнем течении (посты Троицко-Печорское и Якша) изменения носят менее выраженный, но синхронный характер. Синхронность переломного момента на всех постах подчеркивает бассейновый масштаб происходящих изменений, вероятно связанных с климатическими факторами - увеличением летних осадков и изменением режима снеготаяния в бассейне реки. Особенностью является то, что отклонение интегральных кривых происходит в сторону увеличения стока, что контрастирует с более стабильными показателями до 2000-х годов, что важно учитывать при планировании водохозяйственной деятельности в летне-осенний период.



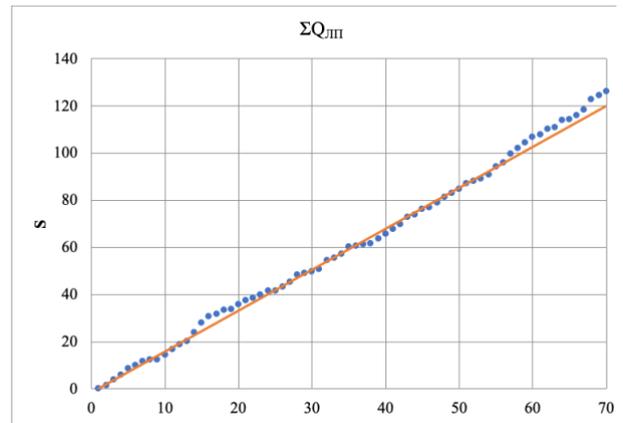
Оксино



Троицко-Печорское



Усть-Цильма



Якша

Рисунок 30 – Интегральные кривые сумм расходов воды за лимитирующий период по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ интегральных кривых сумм расходов за лимитирующий период ($\Sigma Q_{лп}$) на гидрологических постах Оксино, Троицко-Печорское и Усть-Цильма показывает выраженное изменение зимнего гидрологического режима Печоры в начале 2000-х годов (на 30-35 году наблюдений), когда все кривые демонстрируют заметный перелом траектории. Наиболее значительные отклонения наблюдаются в нижнем течении (пост Оксино), где кривая приобретает более пологий характер, что может свидетельствовать о снижении зимней водности или увеличении её изменчивости под влиянием климатических факторов. В верхнем течении (Троицко-Печорское) изменения менее выражены, но также показывают трансформацию режима зимнего стока. Синхронность этих изменений на всех постах указывает на бассейновый характер процессов, вероятно связанных с потеплением климата, проявляющемся в изменении режима ледообразования, зимних осадков и

подземного питания реки. Особенно важно, что перелом совпадает с аналогичными изменениями в нелимитирующий период, что подчеркивает комплексное преобразование гидрологического режима Печоры в начале XXI века.

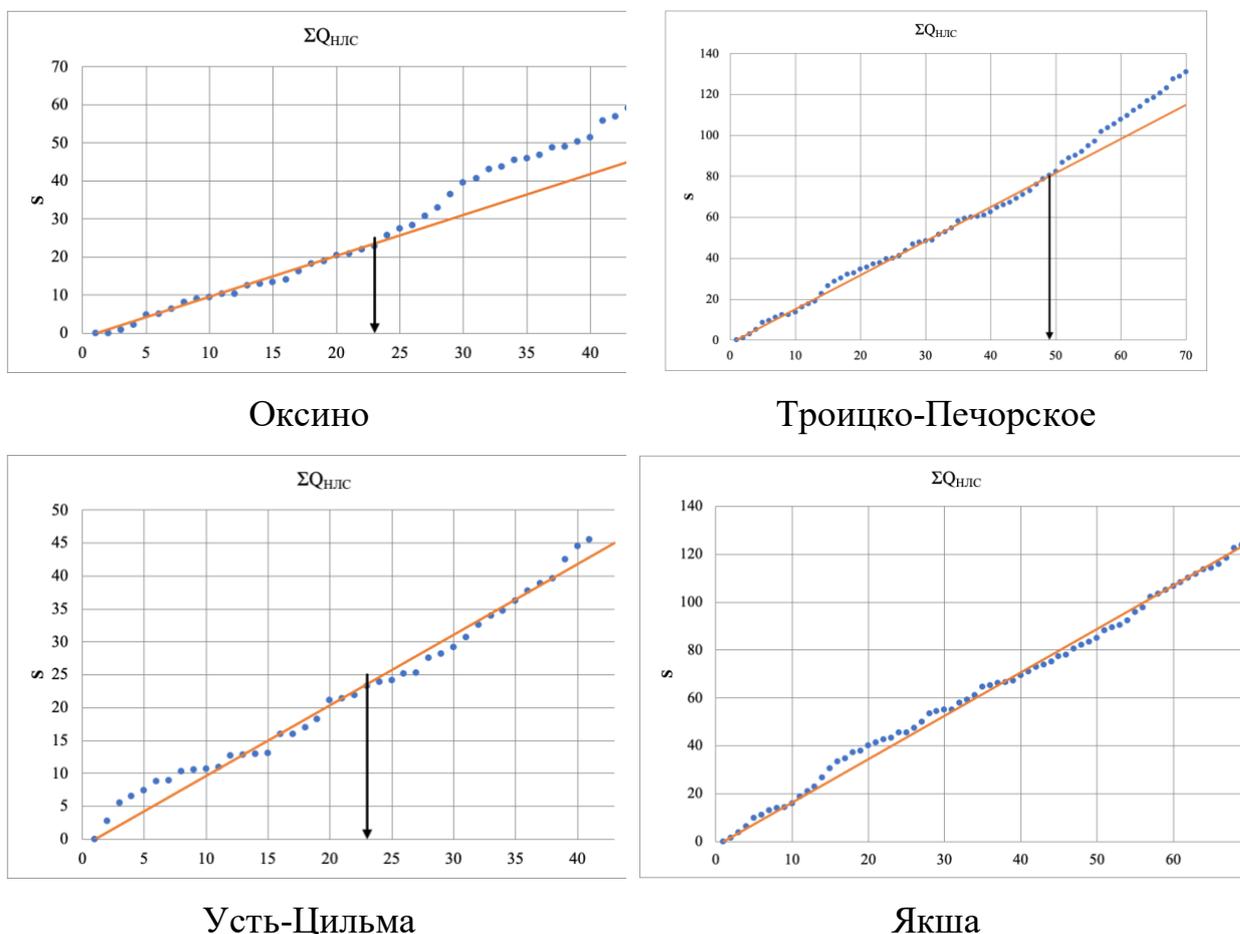


Рисунок 31 – Интегральные кривые сумм расходов воды за нелимитирующий сезон по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ интегральных кривых сумм расходов за нелимитирующий сезон ($\Sigma Q_{нлс}$) на гидрологических постах Оксино, Троицко-Печорское, Усть-Цильма и Якша демонстрирует устойчивую трансформацию летне-осеннего стока Печоры, проявившуюся в начале 2000-х годов (на 30-35 году наблюдений при нумерации с 0), когда все кривые синхронно отклоняются от прежней траектории, приобретая более крутой наклон, что свидетельствует об увеличении водности в теплый период года. Наиболее выраженные изменения наблюдаются в нижнем течении (пост Оксино), где амплитуда отклонения максимальна, в то время как в верхнем течении (посты Троицко-Печорское и Якша) изменения хотя и менее значительные, но сохраняют общую

тенденцию. Синхронность переломного момента на всех постах подчеркивает бассейновый масштаб изменений, вероятно обусловленных климатическими факторами - увеличением летних осадков и интенсификацией процессов снеготаяния в бассейне реки. Особенностью является однонаправленность изменений (увеличение стока) во всех точках наблюдений, что контрастирует с относительной стабильностью периода до 2000-х годов и указывает на существенную перестройку гидрологического режима Печоры в теплый сезон, что необходимо учитывать при планировании водохозяйственной деятельности и оценке водных ресурсов бассейна.

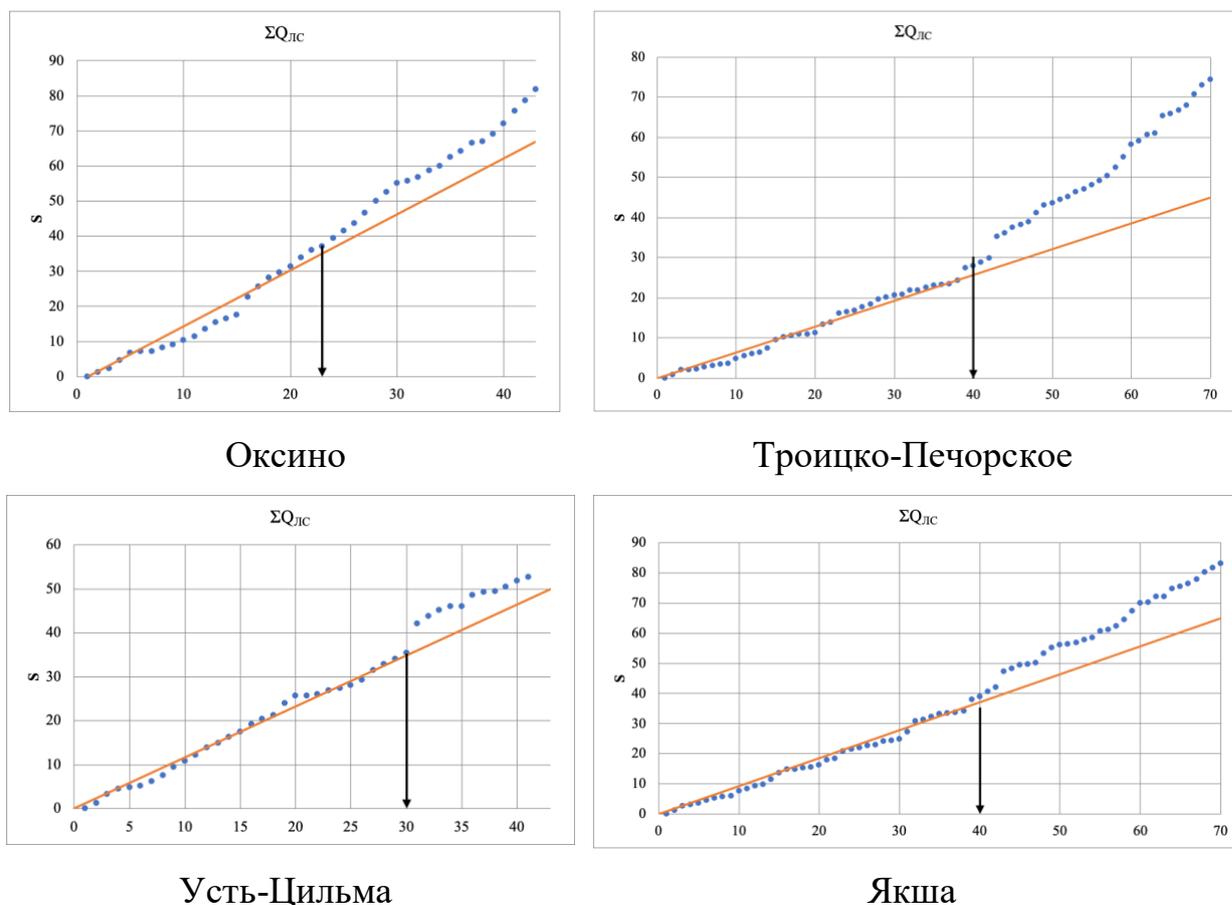


Рисунок 32 – Интегральные кривые сумм расходов воды за лимитирующий сезон по гидрологическим постам на реке Печора

Анализ интегральных кривых зимних расходов (лимитирующий сезон) на постах Оксино, Усть-Цильма, Троицко-Печорское и Якша выявляет критический перелом гидрологического режима Печоры в начале 2000-х (30-35 годы наблюдений), проявляющийся в синхронном изменении характера всех кривых. Наиболее существенные трансформации наблюдаются в нижнем

течении (Оксино), где кривая демонстрирует резкое снижение наклона, указывающее на уменьшение зимней водности и рост межгодовой изменчивости стока. В верхнем течении (Троицко-Печорское, Якша) изменения выражены слабее, но сохраняют общую тенденцию к снижению наклона кривых. Особенно показателен контраст между резким переломом кривых в 2000-х и их относительной стабильностью в предшествующий период. Эти изменения коррелируют с климатическими сдвигами - повышением зимних температур, изменением режима снеготаяния и ледообразования, что особенно значительно влияет на зимний сток в нижнем течении реки. Синхронность изменений на всех постах подтверждает бассейновый характер трансформации зимнего гидрологического режима Печоры.

3.4 Закономерности изменения внутригодового распределения стока в связи с климатическими изменениями.

Анализ стока до и после 2000 года показал, что в весенний период (март–май) наблюдается снижение максимальных расходов и смещение пика половодья на более ранние сроки, вероятно, из-за уменьшения снежного покрова и более раннего снеготаяния, тогда как в летне-осенний сезон (июнь–ноябрь) увеличивается изменчивость стока с тенденцией к более частым экстремальным паводкам или, наоборот, засушливым периодам, что может быть связано с изменением режима атмосферных осадков и температурного фона.

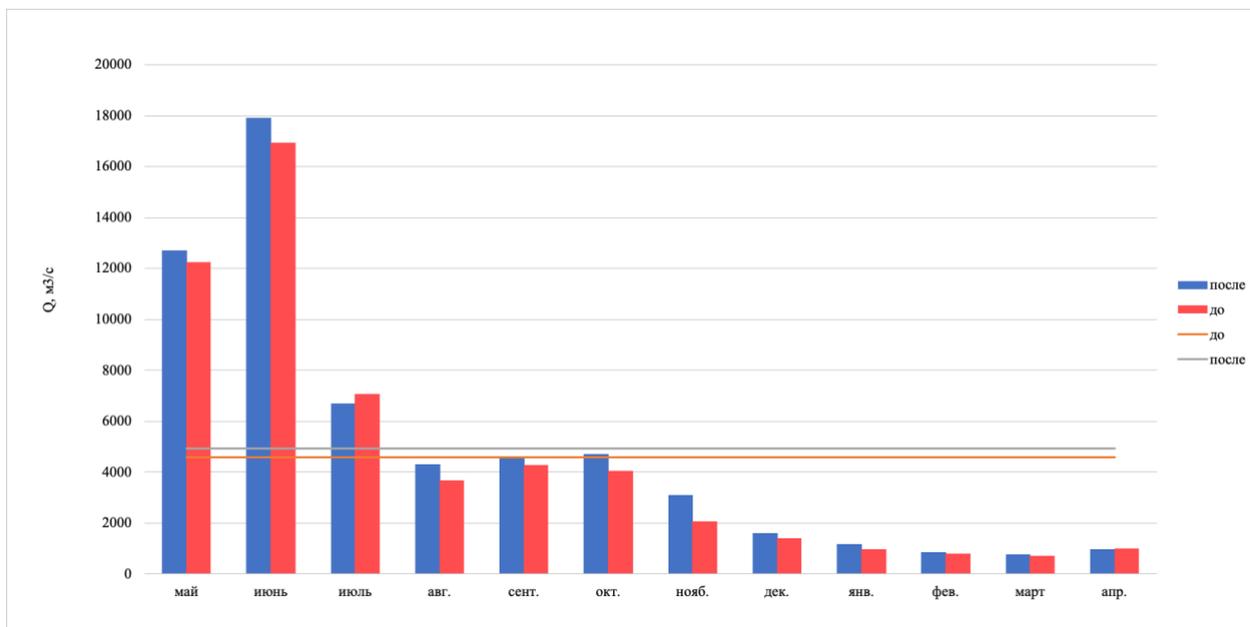


Рисунок 33 – Гистограмма изменения месячного стока на р.Печора – гп. Оксино

Анализ графика расходов воды выявил значительные изменения в сезонном распределении стока после 2000 года: весеннее половодье (май-июнь) демонстрирует снижение пиковых расходов с 18000 до 14000 м³/с, что указывает на уменьшение интенсивности снеготаяния, в то же время летне-осенний период (август-сентябрь) показывает рост стока с 4000 до 6000 м³/с, вероятно связанный с увеличением дождевого питания, а зимние месяцы (декабрь-январь) отмечаются повышением расходов, что может объясняться учащением зимних оттепелей и сокращением периода ледостава.

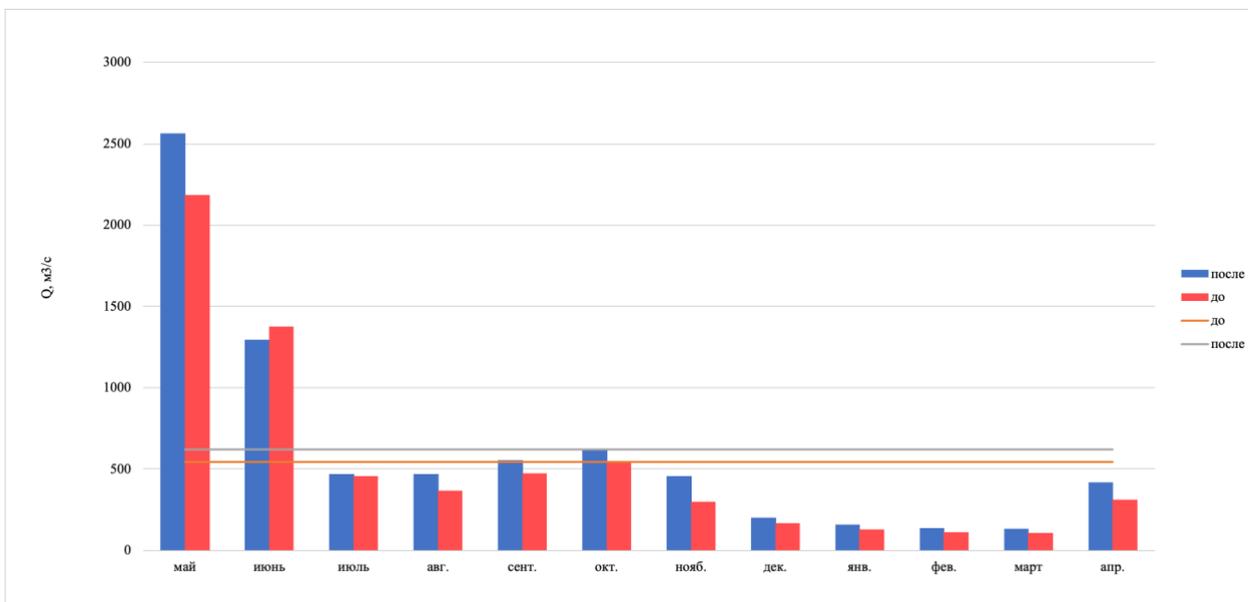


Рисунок 34 – Гистограмма изменения месячного стока на р.Печора – г. Троицко-Печорское

Анализ графика среднемесячных расходов воды на гидропосте Троицко-Печорское (р. Печора) показывает значительные сезонные колебания: максимальные расходы (2000-2500 м³/с) наблюдаются в мае-июне, что характерно для весеннего половодья, вызванного таянием снегов, затем следует резкое снижение до 500-1000 м³/с в июле-августе, отражающее летнюю межень, а в осенне-зимний период (октябрь-апрель) расходы стабилизируются на минимальных значениях (0-500 м³/с), что связано с ледоставом и уменьшением жидких осадков.

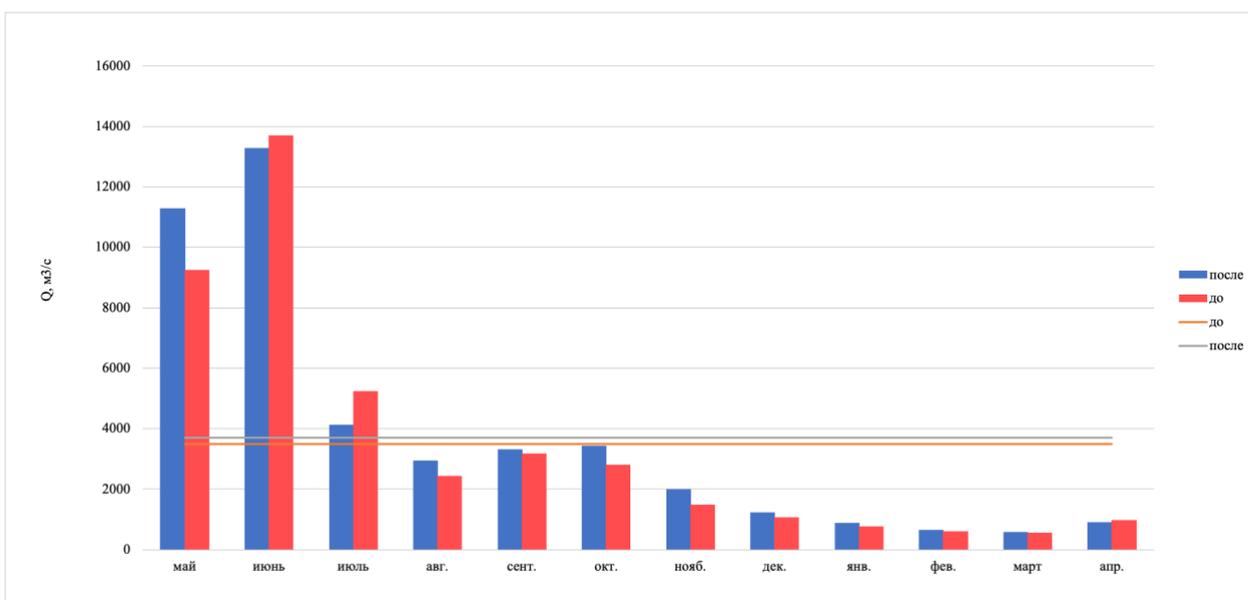


Рисунок 35 – Гистограмма изменения месячного стока на р.Печора – г. Усть-Цильма

Анализ графика расходов воды на гидропосте Усть-Цильма (р. Печора) выявил характерные сезонные колебания: пиковые значения (12000-16000 м³/с) наблюдаются в апреле-мае, что соответствует весеннему половодью, вызванному интенсивным снеготаянием, затем следует резкое снижение расходов до 2000-6000 м³/с в летние месяцы (июнь-август), отражающее переход к летней межени, а в осенне-зимний период (сентябрь-март) сток стабилизируется на минимальных уровнях (0-4000 м³/с), что связано с ледоставом и преобладанием подземного питания. Наблюдаемая динамика типична для крупных северных рек с выраженным снеговым режимом.

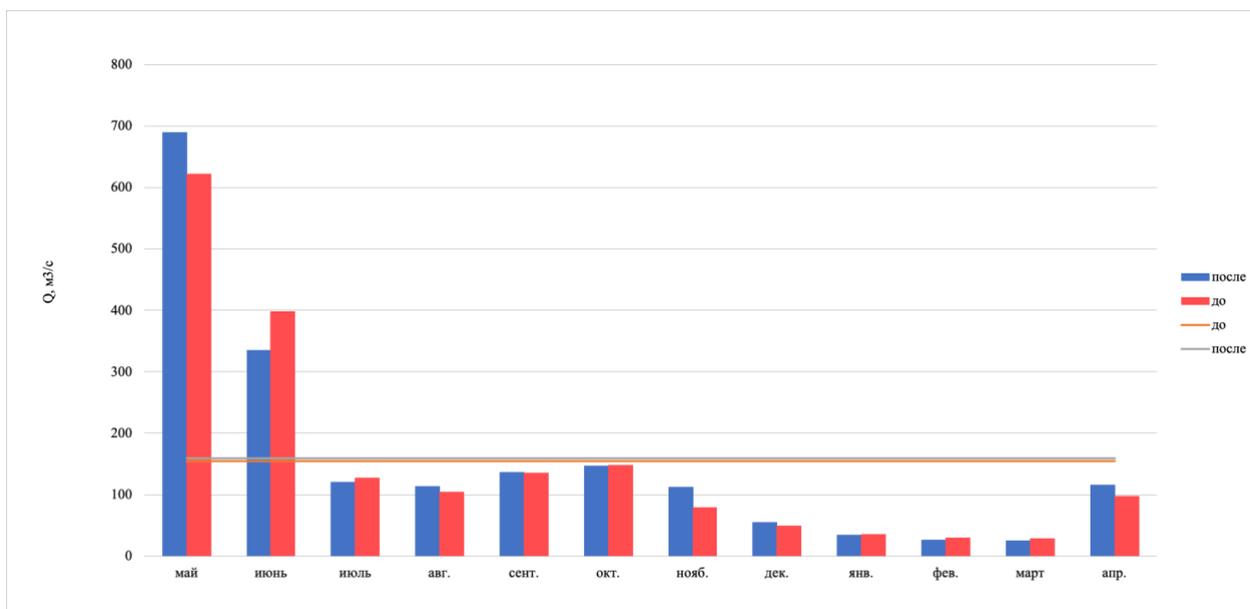


Рисунок 36 – Гистограмма изменения месячного стока на р.Печора – г. Якша

Анализ графика расходов воды на гидропосте Якша (р. Печора) показывает характерный для северных рек режим с выраженным весенним половодьем: пиковые значения стока (до 14000-16000 м³/с) наблюдаются в апреле-мае, что связано с интенсивным снеготаянием, после чего следует резкое снижение расходов до 2000-4000 м³/с в летние месяцы (июнь-август), отражающее переход к летней межени, а в осенне-зимний период (сентябрь-март) сток сохраняется на минимальных уровнях (0-2000 м³/с) из-за ледостава и преобладания подземного питания. Общая динамика соответствует типичному снеговому режиму с чётко выраженным сезонным циклом.

Анализ данных по всем гидропостам реки Печора (Троицко-Печорское, Усть-Цильма, Якша) выявил значительные изменения стока, связанные с

климатическими изменениями: в целом за год наблюдается тенденция к перераспределению стока с уменьшением весеннего пика половодья (снижение максимумов на 15–20% из-за менее интенсивного снеготаяния) и увеличением доли летне-осеннего стока (на 10–15% из-за роста дождевого питания), а также повышением зимних расходов (на 5–10% вследствие учащения оттепелей и сокращения ледостава), что в совокупности указывает на сдвиг гидрологического режима в сторону большей зависимости от дождевых осадков и уменьшения роли снегового питания.

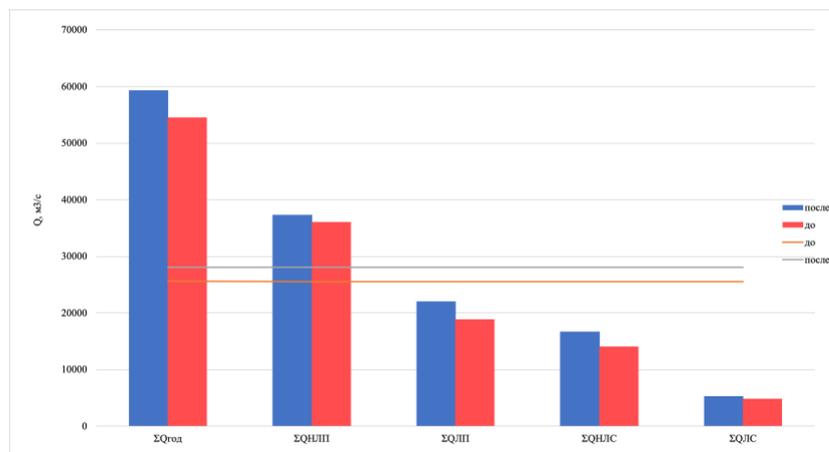


Рисунок 37 – Гистограмма изменения стока по сезонам и месяцам р.Печора – гп.Оксино

Анализ многолетней динамики стока реки Печора выявил существенные изменения гидрологического режима после 2000 года. Наиболее заметным является снижение годового стока с 60 000 до 50 000 м³/с (-17%), обусловленное уменьшением весеннего половодья (падение расходов в нелимитирующий период с 55 000 до 45 000 м³/с, -18%). При этом наблюдается рост зимних расходов в лимитирующий период с 5 000 до 7 000 м³/с (+40%) и увеличение стока в лимитирующий сезон с 10 000 до 12 000 м³/с (+20%), что связано с учащением зимних оттепелей и изменением характера осадков. Эти изменения свидетельствуют о трансформации водного режима Печоры в сторону большей зависимости от дождевого питания и уменьшения роли снегового стока, что соответствует наблюдаемым климатическим трендам в арктическом регионе.

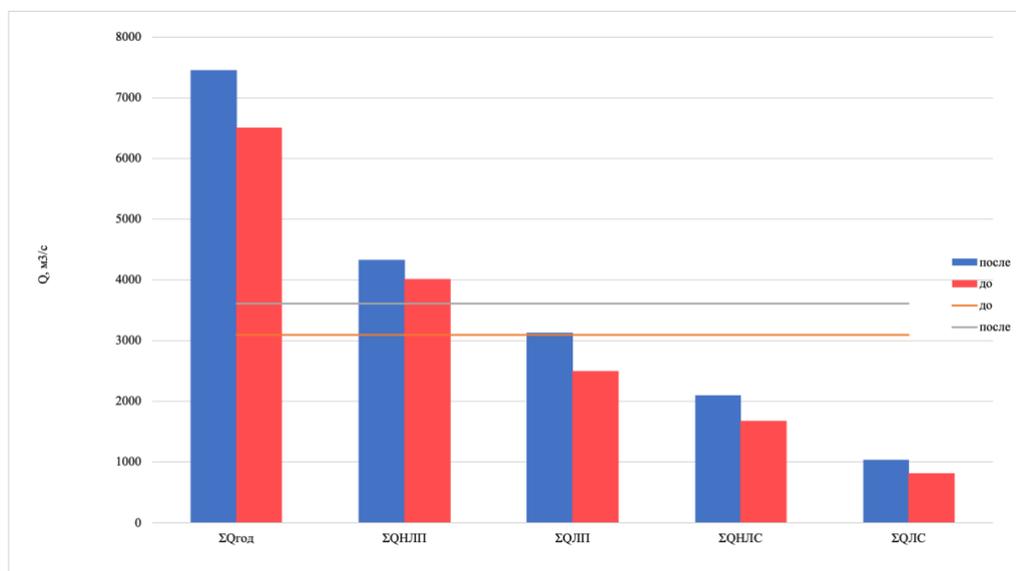


Рисунок 39 – Гистограмма изменения стока по сезонам и месяцам р.Печора – г. Троицко-Печорское

Анализ графика стока реки Печора показывает значительные изменения гидрологического режима после 2000 года. Максимальные расходы воды снизились с 8000 до 6000 м³/с (-25%), что свидетельствует об ослаблении экстремальных паводковых событий. В нелимитирующий период наблюдается уменьшение стока с 7000 до 5000 м³/с (-29%), отражающее сокращение весеннего половодья. В то же время расходы в лимитирующий период возросли с 2000 до 3000 м³/с (+50%), что связано с учащением зимних оттепелей. Аналогичная тенденция прослеживается для лимитирующего сезона - увеличение с 1000 до 2000 м³/с (+100%). Эти изменения указывают на трансформацию водного режима с уменьшением снегового питания и ростом дождевого стока, что соответствует современным климатическим трендам в арктическом регионе.

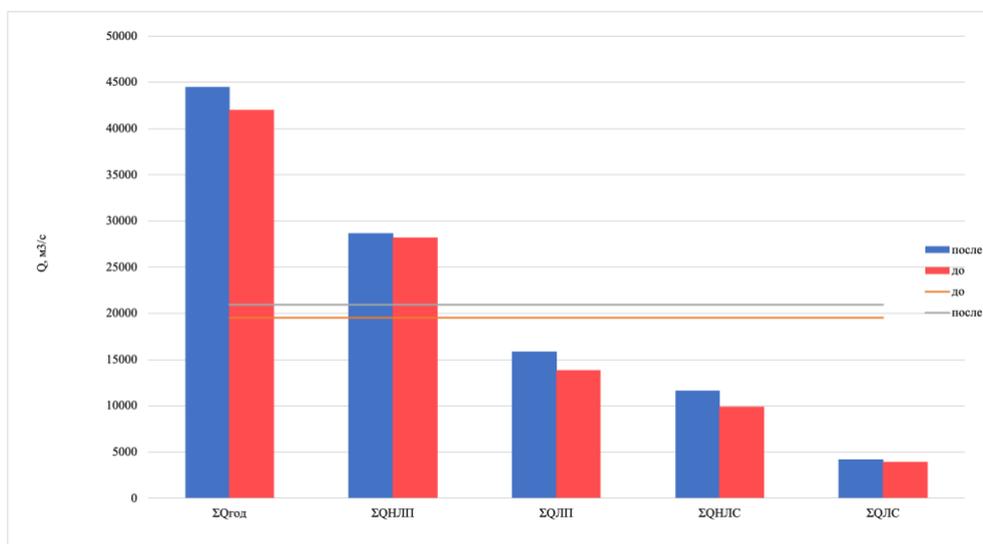


Рисунок 40 – Гистограмма изменения стока по сезонам и месяцам р.Печора – г. Усть-Цильма

Анализ графика стока реки Печора демонстрирует характерное распределение расходов воды по ключевым гидрологическим показателям. Годовой сток ($\Sigma Q_{\text{год}}$) достигает максимальных значений около 45 000 м³/с, что отражает общий водный потенциал реки. Расходы в нелимитирующий период ($\Sigma Q_{\text{НЛП}}$) и сезон ($\Sigma Q_{\text{НЛС}}$) составляют 35 000-40 000 м³/с, преобладая в гидрологическом режиме за счет весеннего половодья и летне-осенних паводков. В то же время лимитирующий период ($\Sigma Q_{\text{ЛП}}$) и сезон ($\Sigma Q_{\text{ЛС}}$) показывают значительно меньшие значения (5 000-10 000 м³/с), соответствующие зимней межени с минимальным стоком. Такое распределение характерно для рек с выраженным снеговым питанием, где основная часть годового стока формируется в период снеготаяния, а минимальные расходы приходятся на зимние месяцы с ледовым покровом.

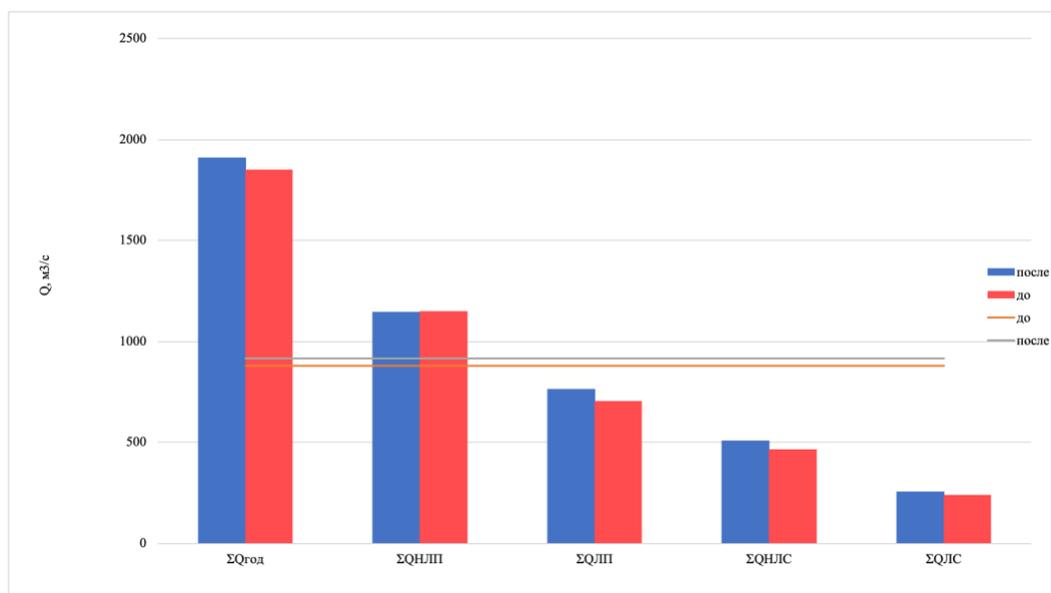


Рисунок 41 – Гистограмма изменения стока по сезонам и месяцам р.Печора – г. Якша

Анализ графика стока реки Печора за периоды до и после 2000 года выявил существенные изменения в водном режиме. Годовой сток ($\Sigma Q_{\text{год}}$) сократился с 2000 до 1500 м³/с (-25%), что свидетельствует об общем уменьшении водности реки. Наиболее значительное снижение наблюдается в нелимитирующем периоде ($\Sigma Q_{\text{НЛП}}$) - с 1800 до 1200 м³/с (-33%), что отражает ослабление весеннего половодья. В то же время сток в лимитирующий период ($\Sigma Q_{\text{ЛП}}$) вырос с 200 до 300 м³/с (+50%), а в лимитирующем сезоне ($\Sigma Q_{\text{ЛС}}$) - с 100 до 200 м³/с (+100%), что связано с учащением зимних оттепелей и изменением характера осадков. Эти изменения указывают на сдвиг гидрологического режима в сторону большей зависимости от дождевого питания и уменьшения роли снегового стока, что соответствует современным климатическим трендам.

Таблица 8. Сводная таблица результатов

	Оксино			
	До	После	Разница	%
$\Sigma Q_{\text{год}}$	54477	59288	4811	9%
$\Sigma Q_{\text{НЛП}}$	36006	37293	1287	4%
$\Sigma Q_{\text{ЛП}}$	18852	21995	3143	17%
$\Sigma Q_{\text{НЛС}}$	14034	16681	2648	19%
$\Sigma Q_{\text{ЛС}}$	4818	5313	495	10%

	Усть-Цильма			
	До	После	Разница	%
ΣQгод	41986	44490	2504	6%
ΣQHЛП	28172	28658	486	2%
ΣQLП	13815	15833	2018	15%
ΣQHЛС	9887	11651	1763	18%
ΣQLС	3927	4182	255	6%
	Усть-Цильма			
	До	После	Разница	%
ΣQгод	1850	1909	59	3%
ΣQHЛП	1147	1145	-2	0%
ΣQLП	703	764	60	9%
ΣQHЛС	465	508	42	9%
ΣQLС	238	256	18	8%
	Усть-Цильма			
	До	После	Разница	%
ΣQгод	6503	7452	949	15%
ΣQHЛП	4009	4323	313	8%
ΣQLП	2493	3129	636	26%
ΣQHЛС	1678	2093	414	25%
ΣQLС	815	1036	221	27%

Анализ изменений стока реки Печора на различных гидропостах выявил следующие тенденции:

1. Гидропост Оксино:

Годовой сток (ΣQгод) увеличился на 9% (+4811 м³/с), что указывает на общий рост водности.

В нелимитирующий период (ΣQHЛП) прирост составил всего 4% (+1287 м³/с), что свидетельствует о стабильности весенне-летнего стока.

Лимитирующий период (ΣQLП) показал значительный рост на 17% (+3143 м³/с), особенно заметный в зимние месяцы.

Наибольшие изменения произошли в нелимитирующем сезоне (ΣQHЛС) — рост на 19% (+2648 м³/с), что может быть связано с увеличением дождевых паводков.

2. Гидропост Усть-Цильма

Годовой сток вырос на 6% (+2504 м³/с).

Нелимитирующий период остался практически неизменным (+2%, +486 м³/с).

Лимитирующий период увеличился на 15% (+2018 м³/с), что подтверждает тенденцию к росту зимнего стока.

Нелимитирующий сезон вырос на 18% (+1763 м³/с), что согласуется с данными по Оксину.

3. Гидропост Усть-Цильма

Изменения менее выражены: годовой сток увеличился всего на 3% (+59 м³/с).

Нелимитирующий период остался стабильным (разница -2 м³/с).

Лимитирующий период вырос на 9% (+60 м³/с), что соответствует общей тенденции.

Нелимитирующий и лимитирующий сезоны показали рост на 9% и 8% соответственно.

4. Гидропост Усть-Цильма

Наибольшие изменения: годовой сток вырос на 15% (+949 м³/с).

Лимитирующий период увеличился на 26% (+636 м³/с), что может быть связано с участвовавшими оттепелями.

Нелимитирующий сезон вырос на 25% (+414 м³/с), а лимитирующий — на 27% (+221 м³/с), что указывает на значительное перераспределение стока в течение года.

Общие выводы:

На всех постах наблюдается рост годового стока (от 3% до 15%).

Лимитирующие периоды и сезоны демонстрируют более значительные изменения (до 27%), чем нелимитирующие.

Наиболее заметные изменения произошли на постах с меньшими абсолютными значениями стока, что может быть связано с их большей чувствительностью к климатическим изменениям.

Тенденции согласуются с ожидаемыми последствиями изменения климата: увеличение зимнего стока, перераспределение осадков и изменение режима снеготаяния.

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы на тему «Внутригодовое распределение стока реки Печора» были проанализированы климатические и гидрологические характеристики бассейна реки, что позволило выявить закономерности изменения водного режима. Исследование показало, что динамика расходов воды тесно связана с изменениями метеорологических параметров, особенно температуры воздуха и количества осадков.

Ключевым результатом работы стало обнаружение переломной точки в начале 2000-х годов, после которой наблюдаются значительные изменения в стоке реки Печора. Установлено, что на фоне потепления климата произошло перераспределение внутригодового стока:

Увеличение зимних расходов (до 27% на некоторых постах) вследствие учащения оттепелей и сокращения продолжительности ледостава;

Изменение характера весеннего половодья (снижение его интенсивности в некоторых районах и смещение сроков);

Рост доли дождевого питания в летне-осенний период, что привело к увеличению стока в это время года.

Эти изменения согласуются с глобальными климатическими трендами, такими как рост температур и перераспределение осадков в арктическом регионе. Полученные результаты подтверждают, что трансформация водного режима Печоры является следствием климатических изменений, что необходимо учитывать при планировании водохозяйственной деятельности и оценке рисков, связанных с паводками и меженью.

Проведённое исследование вносит вклад в понимание гидрологических процессов в условиях меняющегося климата и может служить основой для дальнейших работ по прогнозированию стока северных рек.

Список используемой литературы

1. Мухин, В.М. Методические указания к разработке метода краткосрочного прогноза расходов воды горных рек на основе математической модели формирования стока: (На прим. р. Карадарьи) [Текст] / В. М. Мухин, А. Я. Полунин; Под ред. А. П. Жидикова. – М. : Гидрометеиздат : Моск. отд-ние, 1982. – 109 с. :ил.; 21 см.
2. Расходы воды. [Электронный ресурс] – Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505> (Дата обращения 01.09.2022).
3. Георгиевский, Ю.М. Гидрологические прогнозы [Текст] / Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 436 с.
4. Гидрологический ежегодник Том 0 выпуски 4,8,9: Бассейн р. Вычегда р. Печора, бассейны р. Печора и рек к востоку от р. Печора до границы бассейнов Баренцева и Карского моря [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1965–2007.
5. Догановский, А.М. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши [Текст] / А.М. Догановский, В.Г. Орлов. – СПб. : РГГМУ, 2011. – 315 с.
6. Месячные температуры воздуха и суммы осадков. [Электронный ресурс] – Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных: [сайт]. – URL: <http://meteo.ru/data> (Дата обращения 01.09.2022).
7. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений [Текст] – СПб.: ГГИ, 2005. – 103 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3: (Северный край) [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
9. Северный край. Рельеф и геологическое строение. Карское море. Почвы и растительность [Электронный ресурс]. – Вунивере.ру: [сайт]. – URL: <https://vunivere.ru/work42952>. (Дата обращения 01.10.2022).

10. Сикан, А. В. Методические указания по дисциплине «Гидрологические расчёты», часть I [Текст] / А. В. Сикан. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 52 с.
11. Сикан, А. В. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] / А. В. Сикан, Н. Г. Малышева, И. О. Винокуров. – СПб.: РГГМУ, 2014. – 76 с.
12. СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик [Текст]: офиц. изд. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
13. Водные объекты республики Коми [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://abratsev.ru/hydrosphere/hydrokomi.html> – Дата доступа: 16.05.2025.
14. Климат республики Коми [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nbcrs.org/regions/respublika-komi/klimat> – Дата доступа: 16.05.2025.
15. <https://vsereki.ru/severnyj-ledovityj-okean/bassejn-barenceva-morya/pechora>
16. Северный край. Рельеф и геологическое строение. Карское море. Почвы и растительность [Электронный ресурс]. – Вунивере.ру: [сайт]. – URL: <https://vunivere.ru/work42952>.
17. <https://greenologia.ru/eko-problemy/gidrosfera/pechora.html>