

Санкт-Петербургский государственный университет

*АСАНИДЗЕ Диана Давидовна*

**Выпускная квалификационная работа**

***Изменение минимального и максимального стока рек Бодайбинского района в связи с  
флуктуациями климата***

Уровень образования:

Направление *05.03.04 «Гидрометеорология»*

Основная образовательная программа *СВ.5021. «Гидрометеорология»*

Профиль *«Климатология»*

Научный руководитель: доцент с возложенными обязанностями  
заведующей кафедрой геоэкологии и природопользования,  
к. г. н., доцент, Федорова Ирина Викторовна

Рецензент: старший научный сотрудник  
ФГБУН ИВП РАН, к. г. н.,  
Исупова Мария Викторовна

Санкт-Петербург  
2023

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Физико-географическое описание Бодайбинского района.....	6
1.1 Рельеф и геологическое строение.....	6
1.2 Климат.....	7
1.3 Почвы, растительность и животный мир.....	10
Глава 2. Методы и материалы исследования.....	12
2.1 Виды кривой обеспеченности расходов.....	12
2.2 Проверка ряда на однородность .....	16
2.3 Первичная статистическая обработка многолетних рядов данных расходов воды.....	18
2.3 Оценка значимости тренда.....	19
2.4 Материалы исследования .....	20
Глава 3. Климатическое описание Бодайбинского района. ....	21
3.1 Температура.....	21
3.2 Осадки .....	25
3.3 Давление.....	28
3.4 Упругость водяного пара.....	29
Глава 4. Гидрологическое описание изучаемых рек Бодайбинского района. ....	30
4.1 Р. Большой Патом- с. Патома.....	31
4.2 Р. Чара – с.Токко .....	31
4.3 Р. Жуя – прииск Светлый .....	32
4.4 Р. Витим – г. Бодайбо .....	33
4.5 Р. Чуя – с. Чуя.....	34
4.6 Р. Мама – р.п. Луговский.....	35
4.7 Разностные интегральные кривые.....	36
4.8 Многолетнее изменение стока исследуемых рек.....	37
4.9 Тренды многолетних изменений стока рек .....	51
Глава 5. Климатические сценарии.....	55
5.1 Современное состояние изученности влияния изменений климата на гидрологический режим рек.....	55
5.2 Климатические сценарии.....	58
5.3 Подбор теоретических кривых обеспеченности .....	59
5.4 Прогноз изменений максимального и минимального стока в связи с климатическими сценариями.....	64
Заключение .....	68
Список использованных источников .....	70
Приложение №1 .....	74
Расчетные таблицы максимальных и минимальных расходов воды разной обеспеченности для рек Бодайбинского района .....	74

Приложение №2 .....	87
Теоретические кривые обеспеченности максимальных уровней воды рек Байкальского региона ..	87
Приложение №3 .....	93
Графики климатических характеристик .....	93
Приложение №4 .....	114
Графики хода осадков и расходов .....	114
Приложение №5 .....	125
Прогноз расходов при разных климатических сценариях .....	125

## **Введение**

В последние десятилетия наблюдается все более заметное изменение климата, которое оказывает существенное влияние на гидрологический режимы рек и других водоемов. В районах, где сток рек играет важную роль в экосистемах и экономике региона, изменения гидрологических режимов могут привести к серьезным последствиям.

Реки Бодайбинского района, находящегося в Иркутской области, не являются исключением. Их сток также подвержен воздействию климатических факторов, что может повлиять на природную среду и жизнь людей. Для рассматриваемого региона наблюдаются изменения максимального и минимального стока рек. Эти изменения могут быть связаны с отмечаемыми в последние десятилетия флуктуациями климата (Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2022), такими как повышение температуры воздуха, изменение количества осадков и т.д. Для обеспечения устойчивого развития региона, необходимо изучить возможные изменения максимального и минимального стока рек, как наиболее важных характеристик стока для водопользования.

**Цель данной** выпускной работы заключается в изучении влияния флуктуаций климата на максимальный и минимальный сток рек Бодайбинского района. Для достижения этой цели необходимо:

- провести анализ климатических данных исследуемого района за последние десятилетия и сопоставить их с данными по стоку рек;
- получить характеристики максимального и минимального стока рек Бодайбинского района;
- выполнить статистический анализ стока рассматриваемых рек;
- рассмотреть возможные изменения стока рек при различных климатических сценариях.

Данная работа имеет высокую актуальность, так как вопросы изменения климата и его влияния на окружающую среду и экономику становятся все более значимыми в нашей современной жизни и были внесены в Климатическую доктрину РФ. Изменения стока рек Бодайбинского района является важной задачей, так как это позволит оценить влияние изменения климата на гидрологические процессы и на экологическое состояние водных ресурсов региона. Это имеет большое значение для планирования экономической деятельности, например, для строительства гидроэлектростанций, орошения,

водопользования в районах добычи природных ресурсов, и других проектов, связанных с использованием водных ресурсов.

**Объект исследования:**

Объектом исследования являются реки Бодайбинского района Иркутской области РФ.

**Предмет исследования:**

Предметом исследования является максимальный и минимальный сток рек Бодайбинского района.

## Глава 1. Физико-географическое описание Бодайбинского района.

### 1.1 Рельеф и геологическое строение

Бодайбинский район - один из самых богатых золотороссыпных районов в мире, являющийся крупнейшей золотоносной аномалией. Россыпи в Ленском золотоносном районе успешно разрабатываются с 1846 года и до сих пор имеют важное промышленное значение. В результате проведенных исследований уже на раннем этапе геологического изучения были составлены довольно точные геологические мелкомасштабные карты для всего региона, а для отдельных наиболее золотоносных - и более подробные. Были выявлены основные типы золотоносных россыпей, закономерности их формирования и размещения, а также коренные источники россыпей (Буряк и др., 1997).

С самого начала изучения Бодайбинского золотоносного района в 1890 году, геологические исследования в этом регионе проводил В.А. Обручев. Вплоть до 1930-х годов геологические исследования были проводимы нерегулярно. Однако, в 1930 году начались систематические геологические исследования, которые включали геолого-съемочные работы масштаба 1:100 000, под руководством П.Н. Стефанова.

Основная геологическая структура района месторождения – Бодайбинский синклиналий - входит в состав Ленского золотоносного района (ЛЗР), расположенного в пределах северного выступа Байкальской складчатой области, в её миогеосинклинальной зоне, заключенной между Сибирской платформой и Алданским щитом. ЛЗР представлен тремя структурными областями, отождествляемыми со структурно-фациальными зонами (Корчуганова Н.И. и др., 2001):

1. Бодайбинский синклиналий;
2. Витимо-Патомо-Нечерский антиклинали;
3. Валюхтинско-Ченчинская краевая складчатая зона.

Рассматриваемая территория охватывает северо-восточную часть Байкальской горной складчатой области – бассейны рек Витима, Чары и Олекмы. На севере ее выделяются Северо-Байкальское и Патомское нагорья, сложенные собранными в складки породами протерозойского возраста, представленными в нижней части разреза гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами, а в средней и верхней его частях – известняками, мраморизованными известняками, мраморами, песчаниками, алевролитами, гравелитами и кварцитами. Нагорье характеризуется среднегорным и низкогорным рельефом,

абсолютные отметки поверхности составляют 1000-2000 м, глубина вреза речных долин достигает 300-400 м.

К югу и югу-западу от Северо-Байкальского и Патомского нагорий простирается в северо-восточном направлении Саяно-Байкальское становое нагорье, в сложении которого, помимо протерозойских отложений, существенное участие принимают интрузивные породы. Его рельеф характеризуется сочетанием высоких хребтов альпинотипного облика (Северо-Муйский, Кодар, Удокан, Каларский) с глубокими кайнозойскими впадинами (Нижнемуйская, Верхнечарская). Высота хребтов достигает 2500-3000 м, тогда как отметки днищ впадин составляют 455-1400 м. Характерны черты мезорельефа, связанные с ледниковой экзарацией – трог, кары, морены. Встречаются и современные ледники. В межгорных понижениях развиты термокарстовые и другие проявления криогенеза (Шынбергенов Е.А., 2018).

Южнее Саяно-Байкальского станового нагорья находятся Забайкальские средние горы и плоскогорья. Этот регион характеризуется широкими и длинными впадинами забайкальского типа, сочетающимися с возвышениями водоразделов. Абсолютные высоты водораздельных хребтов колеблются от 800 до 1800 м, а отметки днищ впадин варьируют от 500 до 1000 м. Водораздельные хребты состоят преимущественно из кристаллических и метаморфических пород, а в впадинах широко представлены мезо-кайнозойские и особенно кайнозойские терригенные формации. Рельеф в целом достаточно пересеченный, но в этом отношении он уступает Саяно-Байкальскому нагорью.

В период неогена и раннего четвертичного периода произошла дифференциация основных впадин и водораздельных поверхностей на исследуемой территории, что привело к формированию гидрографической сети. После таяния Северо-Байкальского ледникового щита во второй половине четвертичного периода, гидрографическая сеть изменила свой облик. Окончательная перестройка гидрографической сети произошла в позднем плейстоцене после формирования впадин байкальского типа. Гидрографическая сеть Алданского щита, Байкальской и Монголо-Охотской складчатых областей тесно связана с разрывной тектоникой, которая привела к блоковому характеру неотектонических движений (Домбровский В.В., 1940).

## **1.2 Климат**

Климат рассматриваемой территории характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется очень низкими зимними и высокими летними температурами воздуха.

В зимний период территорию охватывает мощный сибирский антициклон, начинающий образовываться в сентябре. В антициклоне происходит формирование континентального, очень холодного воздуха. Ясная и сухая погода способствует охлаждению земной поверхности и нижних слоев воздуха. Дальнейшему развитию антициклона, достигающего своего максимума в январе-феврале, способствует вторжение арктических воздушных масс (Мустаева, П. А., 2022).

Особенно сильное радиационное выхолаживание происходит в долинах и котловинах, куда стекает холодный воздух и где зимние температуры достигают исключительно низких значений. В холодное время года сильно развиты инверсии-повышения температуры воздуха с высотой, особенно мощные в горных районах.

При сильных морозах и затишье часто образуются морозные туманы.

Незначительный снежный покров и исключительно низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты, достигающей большой мощности.

Лето хотя и короткое, но теплое, а иногда и жаркое, однако ночи обычно прохладные и почти по всей территории вероятны заморозки во все летние месяцы. Переходные сезоны года кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температур. На рассматриваемой территории во все времена года господствует западный перенос воздушных масс, особенно интенсивный в теплую часть года (обычно с апреля по октябрь), когда теплые и влажные воздушные массы поступают с запада и юга-запада.

Сферы влияния различных воздушных масс на величину стока рек не остаются постоянными в пределах Бодайбинского района. Смена воздушных масс или отклонение путей их перемещения сказывается на величине выпадающих осадков, а следовательно, и величине водности рек, а также ее изменении по территории.

Наличие горных хребтов на пути перемещения влагоносных воздушных масс обуславливает повышенные осадки на наветренных склонах и увеличение здесь стока рек.

Сезонная смена полей давления определяет ветровой режим территории, однако ее сложные орографические условия вносят значительные изменения. Зимой распределение атмосферного давления способствует развитию южных, юго-западных и западных ветров, направленных в сторону Северного Ледовитого океана. Летом благодаря обратному расположению барических систем преобладающими являются ветры северных



направлений, за исключением горных и речных долин, где направление ветра зависит от их ориентации и степени защищенности.

На большей части территории радиационный баланс, начиная с октября имеет отрицательные значения, наибольшие отрицательные величины баланса наблюдаются в ноябре-декабре. Продолжительность периода с отрицательным балансом составляет 6-7 месяцев. Переход радиационного баланса от отрицательного к положительному происходит в марте-апреле. Наибольшие значения баланса наблюдаются в основном в июне.

Характерной особенностью климата рассматриваемого района, как уже указывалось, является его резкая континентальность, проявляющаяся в исключительно больших месячных и годовых амплитудах температуры воздуха. Для станции Бодайбо по средней месячной температуре воздуха амплитуда составляет  $49,7^{\circ}\text{C}$ , по абсолютному минимуму и максимуму  $94^{\circ}\text{C}$  (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Зимы исключительно суровы. Устойчивые морозы на большей части территории начинаются во второй декаде октября. Наиболее низких значений температура воздуха достигает в январе. Температура воздуха февраля на  $5-7^{\circ}\text{C}$  выше январской. Повышение температуры воздуха от февраля к марту значительно. Наибольшее повышение температур воздуха в годовом ходе происходит от марта к апрелю. В последнем из этих месяцев инверсионные явления, ярко выраженные в течение зимы, уже не имеют места.

Даты разрушения устойчивого снежного покрова почти по всей территории совпадают со временем перехода средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ . В весенний сезон наряду с частыми ночными заморозками наблюдается очень интенсивное повышение температуры воздуха в дневные часы, и, развитие весенних процессов происходит весьма быстро. Благодаря большому контрасту дневных и ночных температур воздуха суточные амплитуды весной достигают больших величин.

Самым жарким месяцем является июль. Средние месячные температуры воздуха достигают  $17-19^{\circ}\text{C}$ . В отдельные годы температура воздуха может повышаться до очень высоких значений до  $34-38^{\circ}\text{C}$ . Однако несмотря на то, что летом преобладают жаркие дни, иногда при значительных похолоданиях бывают заморозки даже в июле.

Осень наступает в конце августа. В сентябре средняя месячная температура положительная.

Режим осадков на рассматриваемой территории определяется условиями атмосферной циркуляции, географическим положением и характером рельефа. Благодаря резко выраженному антициклоническому режиму зима сухая и малоснежная. Летом в результате развития циклонической деятельности выпадает наибольшее количество осадков за год (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

### **1.3 Почвы, растительность и животный мир**

Образование почв происходит в условиях сложного рельефа, резко континентального климата и наличия многолетней мерзлоты, залегающей на небольшой глубине.

В горных районах в поясе тундры встречаются различные типы почвенного покрова. В этом регионе можно выделить маломощные горнотундровые торфянисто-болотные и глеевые торфянисто-болотные почвы. В поясе лесов преобладают горнотаежные и торфянистые тиксотропные почвы. На высоких массивах и хребтах образуются каменистая тундра и каменистые россыпи. Северные склоны горных хребтов часто покрыты примитивными северо-таежными горно-щебнистыми почвами. На южных склонах часто встречаются горностепные почвы и своеобразные степные ассоциации. (Национальный атлас почв Российской Федерации, 2011).

На Алданском и Становом нагорьях, Витимо-Олекминских среднегорьях в горнотундровом поясе выделяются горнотундровые перегнойные и торфянистые почвы, развитые на элювии кристаллических пород архейского возраста. В пределах межгорных котловин и северного склона хребта Удокан (верховья р. Чары) распространены подзолистые иллювиально-железистые почвы. Для межгорных понижений и речных долин характерна заболоченность почв.

Растительность горно-таежного типа, в долинах и низовьях склонов характеризуется преобладанием хвойного леса (лиственница, сосна, ель), в средних и верхних частях склонов – кедровый стланик и карликовая береза, водораздельные пространства представляют собой гольцовую тундру (Чепинога В.В., 2015).

Подзона северотаежного редколесья достаточна однообразна и характеризуется сильно разреженным лиственничным лесом, широким распространением ерниковых зарослей и слабым травостоем.

Верхний пояс гор занят горными тундрами разреженной растительностью гольцов. Ниже распространены заросли тундровых кустарников с преобладанием кедрового стланика, которые меняются рединами с обилием крупных кустарников ольховника, березки, реже кедрового стланика.

Животный мир богат и разнообразен: встречаются медведи, зайцы, соболь, белка; из пернатых – глухарь, рябчики, куропатки и др. (Бояркин, В. М., 2011).

## Глава 2. Методы и материалы исследования

### 2.1 Виды кривой обеспеченности расходов

Минимальные и максимальные расходы рек являются важными параметрами, которые имеют существенное значение для понимания и управления водными ресурсами. Они отражают экстремальные состояния реки и могут оказывать значительное влияние на окружающую среду и социо-экономическую деятельность.

Минимальные расходы рек являются показателем наименьшего количества воды, которое протекает через реку в течение определенного периода времени, обычно в периоды засухи или низкой влажности. Эти значения важны для оценки водного баланса, планирования водопользования и определения минимальных потребностей экосистем и общества в водных ресурсах. Минимальные расходы рек могут влиять на доступность питьевой воды, сельское хозяйство, промышленность и экосистемы, особенно в периоды ограниченного водоснабжения.

С другой стороны, максимальные расходы рек представляют собой максимальное количество воды, которое река может перенести во время паводков, сезонных дождей или снеготаяния. Они отражают состояние реки во время интенсивных осадков или природных катастроф, таких как наводнения. Максимальные расходы рек имеют важное значение для оценки рисков наводнений, планирования водоотведения и дренажа, проектирования гидротехнических сооружений и охраны окружающей среды. Они также могут влиять на сельское хозяйство, население и инфраструктуру в прилегающих районах.

Изучение минимальных и максимальных расходов рек позволяет оценить вариабельность водных ресурсов и изменчивость климата в разных регионах. Эти данные могут быть использованы для прогнозирования будущих изменений водного режима, разработки стратегий управления рисками и адаптации к климатическим изменениям. Более тщательное изучение минимальных и максимальных расходов рек способствует эффективному использованию водных ресурсов, защите окружающей среды и обеспечению устойчивого развития.

Кривые обеспеченности являются важным инструментом при изучении и анализе минимальных и максимальных расходов рек. Эти кривые отражают зависимость между объемом воды и вероятностью ее превышения или дефицита в определенный период времени.

При анализе минимальных расходов, кривая обеспеченности позволяет определить, насколько часто и насколько длительное время расходы рек оказываются ниже определенного минимального уровня. Это помогает определить устойчивость водных ресурсов и их способность удовлетворять потребности окружающей среды и человека. На основе этих данных можно разрабатывать стратегии водоуправления, включающие контроль за минимальными расходами и поддержку экосистем в периоды дефицита воды.

С другой стороны, кривая обеспеченности максимальных расходов рек помогает определить вероятность превышения определенного уровня расходов. Это важно для прогнозирования и планирования мер по предотвращению и смягчению наводнений. Анализ максимальных расходов и соответствующих вероятностей позволяет определить наиболее рискованные участки реки и разработать меры по укреплению берегов, строительству водоотводных сооружений и разработке систем предупреждения о наводнениях.

Таким образом, кривые обеспеченности играют важную роль в анализе и планировании минимальных и максимальных расходов рек. Они помогают оценить устойчивость водных ресурсов, прогнозировать риски и разрабатывать эффективные стратегии управления водными системами для обеспечения устойчивого развития региона и защиты от чрезвычайных ситуаций, связанных с водой.

Обеспеченность гидрологической величины – вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической величины может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений (ГОСТ). Этот график является важным инструментом для планирования использования водных ресурсов и различных водных проектов.

Существует несколько методов построения кривых обеспеченности расходов (Шелутко В.А., 2007), включая эмпирический метод, методы расчета с использованием статистических моделей, методы смешанного подхода и методы, основанные на моделировании водоотведения. Рассмотрим каждый метод более подробно:

1. Эмпирический метод. Этот метод основан на наблюдениях за историческими данными расходов реки. Для построения кривой обеспеченности расходов данные расходов сортируются в порядке возрастания, а затем рассчитывается доля времени, когда расход превышает каждое значение из этого ранжированного списка. Затем эти данные представляются на графике, который отображает процент времени, когда расход превышает каждый из уровней.

$$P_i = I / (n + 1) \times 100\% .$$

где  $I$  - порядковый номер члена ранжированного ряда (Шелутко В. А., 2007).

2. Методы расчета на основе статистических моделей. Эти методы основаны на применении статистических моделей, таких как распределение Гаусса, чтобы описать распределение расходов реки. Кривая обеспеченности расходов затем строится путем вычисления доли времени, когда расход превышает каждое значение из набора значений, которые можно предсказать с помощью статистической модели.
3. Методы смешанного подхода. Эти методы комбинируют эмпирические данные с применением статистических моделей. Например, может использоваться эмпирический метод для определения процентного уровня для самых низких значений расхода, а статистические модели могут использоваться для более высоких уровней расхода.
4. Методы, основанные на моделировании водоотведения. Эти методы используют компьютерные модели, чтобы оценить расходы реки в различных условиях, таких как изменение климата или использование воды для различных целей. Кривая обеспеченности расходов затем строится на основе результатов моделирования.

Кривая обеспеченности Пирсона 2 типа – это инструмент, который используется для оценки риска возникновения определенных гидрологических событий, таких как наводнения или засухи. Эта кривая получила свое название в честь Карла Пирсона, британского математика и статистика.

Кривая обеспеченности Пирсона 2 типа показывает зависимость между вероятностью возникновения определенного гидрологического события и величиной этого события. Она строится на основе данных о распределении вероятностей величины и частоты возникновения гидрологических событий.

Кривые обеспеченности Пирсона 2 типа и 3 типа — это две различные математические модели, которые используются для анализа гидрологических данных. Кривая Пирсона 3 типа обычно используется для анализа дождевых стоков, так как она позволяет учитывать большие значения, которые могут возникнуть при сильных ливнях. В то время как кривая Пирсона 2 типа подходит для моделирования гидрологических данных, которые имеют менее экстремальное распределение.

Как и кривая Пирсона 2 типа, кривая Пирсона 3 типа может быть использована для определения вероятности возникновения гидрологических событий, таких как наводнения и засухи, а также для оценки риска и разработки мер по защите от них.

Кривая распределения Крицкого-Менкеля, также известная как Gumbel распределение, представляет собой математическую модель для анализа экстремальных значений в гидрологических данных. Она используется для моделирования максимальных и минимальных значений стока рек и других гидрологических параметров (Рождественский А.В., 2005).

Основное отличие между кривой распределения Крицкого-Менкеля и кривыми обеспеченности Пирсона 2 и 3 типов заключается в том, что кривая распределения Крицкого-Менкеля фокусируется на экстремальных значениях, тогда как кривые Пирсона - на всей выборке.

Кривая распределения Крицкого-Менкеля имеет форму колокола, а не параболы или S-образной кривой, как у кривых Пирсона. Это позволяет ей более точно моделировать экстремальные значения, которые могут возникать в гидрологических данных.

Эмпирическая кривая — это график, который отображает относительную частоту появления значений в выборке. Она строится путем упорядочивания значений в выборке по возрастанию и вычисления относительных частот. Затем эти значения откладываются на графике в порядке возрастания и соединяются линией.

Эмпирическая кривая позволяет оценить форму распределения данных в выборке и выявить ее особенности. Она может использоваться для проверки соответствия выборки теоретическому распределению и для сравнения нескольких выборок.

Для каждой из рек также были рассчитаны коэффициенты вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ). Коэффициент вариации и асимметрия — это две статистические характеристики, которые могут быть полезны при выборе типа кривой обеспеченности расходов.

Коэффициент вариации ( $CV$ ) показывает отношение стандартного отклонения к среднему значению расходов и выражается в процентах. Чем выше значение коэффициента вариации, тем больше разброс расходов в выборке. Если коэффициент вариации меньше 10%, то можно считать, что выборка имеет малый разброс. Если же коэффициент вариации выше 30%, то выборка имеет большой разброс.

Асимметрия — это мера скошенности распределения. Асимметрия равна нулю в случае симметричного распределения. Если асимметрия положительна, то это говорит о том, что распределение имеет правостороннюю скошенность (большое количество наблюдений со значением, превышающим среднее). Если же асимметрия отрицательна, то распределение имеет левостороннюю скошенность (большое количество наблюдений со значением, меньшим среднего).

При выборе типа кривой обеспеченности расходов, следует учитывать значение коэффициента вариации и асимметрии выборки. Например, если выборка имеет малый разброс и симметричное распределение, то можно использовать кривую Пирсона 2 типа. Если выборка имеет большой разброс и асимметричное распределение, то более подходящей может оказаться кривая Пирсона 3 типа или кривая распределения Крицкого-Менкеля.

В рядах годового стока рек, как правило, наблюдается чередование групп маловодных и многоводных лет, что приводит к образованию так называемых «циклов водности» (Сикан А.В., 2021). Один цикл водности включает в себя маловодную и многоводную фазы. Наиболее наглядное представление о циклах колебаний годового стока дает разностная интегральная кривая, которая представляет собой график зависимости:

$$\sum_{i=1}^{i=n} (k - 1) / C_v = f(t).$$

## 2.2 Проверка ряда на однородность

Расчет числовых характеристик является корректным только в том случае, если ряд однороден. То есть, в течение всего периода наблюдений условия формирования стока не изменялись. Для проверки однородности гидрологических рядов используются специальные тесты – критерии однородности.

В данной работе для проверки однородности используются два критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера. Критерий Стьюдента позволяет провести проверку ряда на однородность по среднему значению, а критерий Фишера – по дисперсии (Орлов А.И., 2004).

Для выполнения работы исходный ряд разбивается на две приблизительно равные части и для каждой части ряда рассчитываются среднее значение, среднеквадратическое отклонение и дисперсия.



При проверке ряда на однородность по дисперсии рассчитывается эмпирическое значение критерия Фишера:

$$F = \frac{D_1}{D_2},$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – дисперсии по одной и другой частям ряда, причем в числитель следует ставить большую из двух дисперсий.

Эмпирическое значение статистики Фишера сравнивается с теоретическим  $F_t$  при уровне значимости  $2\alpha=5\%$ .

Теоретическое значение статистики Фишера определяется по таблице F-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu_1$  и  $\nu_2$ :

$$\nu_1 = n_1 - 1,$$

$$\nu_2 = n_2 - 1,$$

где  $n_1$  – длина выборки с большей дисперсией;  $n_2$  – длина выборки с меньшей дисперсией.

Далее эмпирическое и теоретическое значение сравниваются. Если эмпирическое значение меньше теоретического, то можно считать различие в дисперсиях по отдельным частям незначительными. В этом случае ряд считается однородным.

При проверке ряда на однородность по среднему значению рассчитывается эмпирическое значение критерия Стьюдента по формуле:

$$t^* = \left[ (\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – длина первой и второй частей ряда,  $\bar{Q}_1$  и  $\bar{Q}_2$  – средние значения по первой и второй частям ряда,  $\sigma_1, \sigma_2$  – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим  $t_t$  при уровне значимости  $2\alpha=5\%$ .

Теоретическое значение статистики Стьюдента определяется по таблице t-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu$ :

$$\nu = n - 1,$$

где  $n$ -общая длина исследуемого ряда.

Далее эмпирическое и теоретическое значение сравниваются. Если эмпирическое значение меньше теоретического, то можно считать различие в дисперсиях по отдельным частям незначительными. В этом случае ряд считается однородным.

### **2.3 Первичная статистическая обработка многолетних рядов данных расходов воды**

Многолетние ряды максимальных и минимальных годовых расходов исследуемых рек были проанализированы и обработаны с помощью методов первичной статистической обработки данных. По каждому ряду для всех рек была проведена оценка данных - посчитаны средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение), определены минимумы и максимумы. Для рек был сделан анализ внутригодового режима рек, а также изменения многолетнего стока, который включал в себя сбор данных, создание графиков, анализ сезонных колебаний, расчет статистических показателей (средний расход, минимальный, максимальный, дисперсия и т.д.). Ниже приведены основные статистические величины и формулы их нахождения, используемых для первичной обработки в гидрологии (табл. 1).

Таблица 1 Формулы расчета статистических величин по гидрометеорологическим данным (Сикан А. В., 2005)

Величина	Расчетная формула
Амплитуда	$X_{max} - X_{min}$ , где $X_{max}$ - максимальный расход в многолетнем ряду наблюдений, а $X_{min}$ - минимальный расход.
Дисперсия	$D = (\sigma_Q)^2$
Среднеквадратическое отклонение	$\sigma_Q = C_v \bar{Q}$
Коэффициент вариации	$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}$
Коэффициент асимметрии	$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_{i-1})^3}{(n - 1)(n - 2)C_v^3}$
Коэффициент корреляции	$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$ , где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ - средние значения из выборок двух параметров

Стоит также отметить, что при проведении статистического анализа важно знать, насколько близок закон распределения выборки к нормальному. Коэффициент асимметрии характеризует степень отличия эмпирического распределения от нормального. Для нормального распределения асимметрия равна нулю. Поэтому, достаточно малые значения соответствующих выборочных величин дают основание предполагать, что генеральная совокупность распределена по нормальному закону. Для первоначальной проверки выборки на соответствие нормальному закону можно применить экспресс-метод, который заключается в следующем: предположение о близости выборочного распределения к нормальному отвергается при условии  $a_s \geq 4s\sqrt{x}$ . Здесь  $a_s$  - коэффициент асимметрии, а  $s$  - стандартное отклонение. Величина  $s\sqrt{x}$  называется коэффициентом вариации. Иными словами, если коэффициент асимметрии меньше 4-х коэффициентов вариации, то выборочное распределение можно характеризовать как близкое к нормальному. При этом, существуют различные характеристики асимметрии при определенных значениях коэффициента асимметрии. Так, если  $a_s < 0.25$ , то перед нами слабая асимметрия, если  $a_s \in [0.25; 0.5]$  - умеренная, а если  $a_s > 0.5$ , то распределение можно охарактеризовать как крайне асимметричное.

### 2.3 Оценка значимости тренда

По методу И.И. Поляка линейный тренд является статистически значимым с вероятностью 95%, если  $|a| > 2\sigma_a$ . Среднее квадратическое отклонение  $|a|$  рассчитывается по формуле (И.И.Поляк, 1979).

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{3\sigma^2}{k(k+1)(2k+1)}},$$

где:  $k=0.5n$ ,  $n$  – длина ряда,  $\sigma^2$  – дисперсия исходного ряда.

## 2.4 Материалы исследования

Данные максимальных годовых, средних многолетних максимальных и многолетних максимальных расходов воды рек Жуя, Большой Патом, Чара, Витим, Бодайбо, Чуя и Мама за 2008-2018 гг. для выпускной работы были взяты с сайта Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). За более ранний период (1981-1992 гг.) данные были получены в Государственном гидрологическом институте из гидрологических ежегодников, дополненные запрошенными в Якутском УГМС сведениями (Гидрологические ежегодники Бассейна Лены (верхнее течение) 1981-1988 гг.; Гидрологические ежегодники бассейна Лены (среднее и нижнее течение) 1981-1992 гг.; Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши).

По запросу в ФГБУ «Якутское УГМС» (заявка № 4206-22 от 23.06.2022 г.) были предоставлены следующие данные:

- данные о среднемесячных, среднегодовых расходах воды, минимальном 30-ти суточном расходе зимнего периода (1996-2007 гг.) для р. Жуя (прииск Светлый);
- данные о среднемесячных, среднегодовых расходах воды, минимальном 30-ти суточном расходе в зимний период (1993-2007 гг., 2019-2021 гг.) р. Большой Патом (створ с. Патома);
- данные о среднемесячном и среднегодовом расходе воды (1993-2007 гг, 2019-2021 гг.) для р. Чара (створ с. Токко).

Метеоданные для станций Витим, Перевоз и Мамакан были взяты с сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

### Глава 3. Климатическое описание Бодайбинского района.

Для климатического описания региона было выбрано три метеостанции: Перевоз, Витим и Мамакан (рис.1).

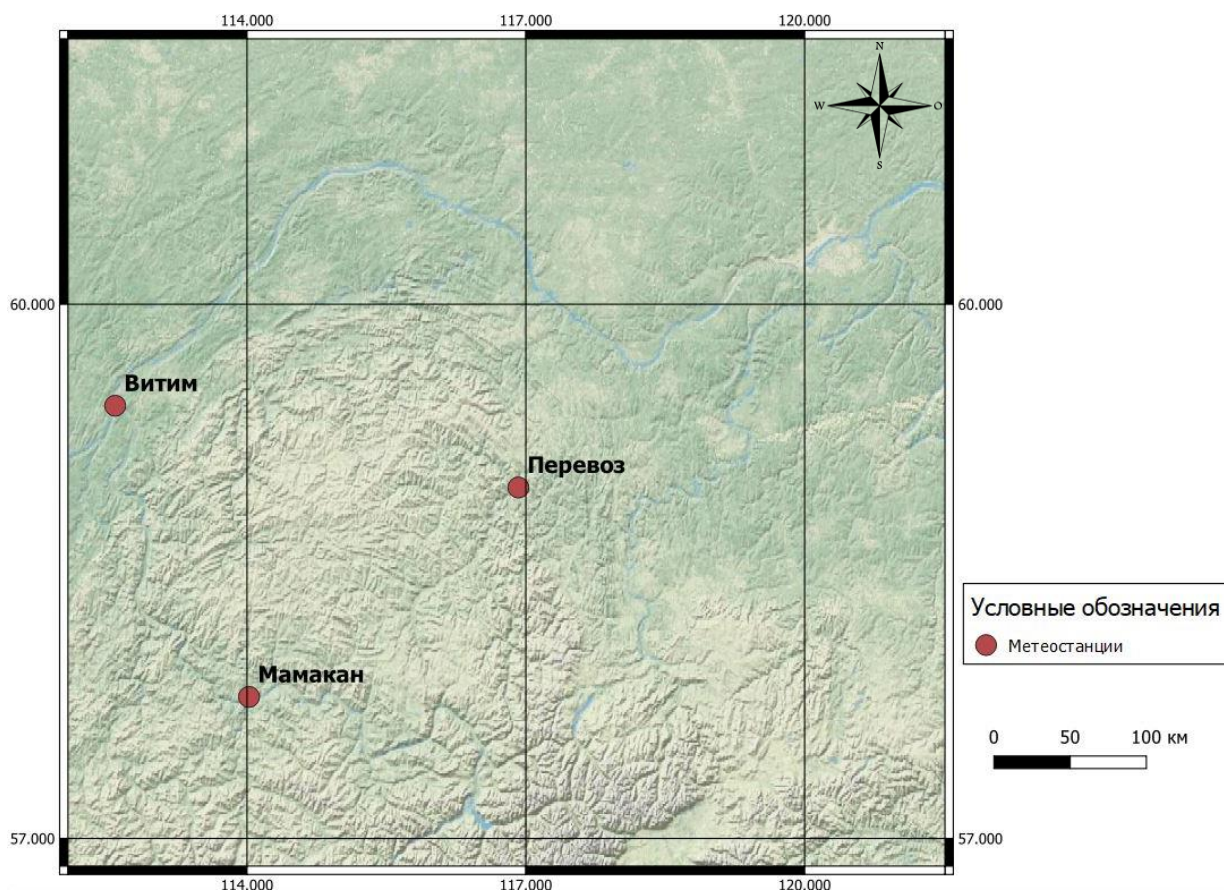


Рисунок 1 Картосхема расположения метеостанций

#### 3.1 Температура воздуха

По данным станций были построены графики межгодового хода температур воздуха, внутригодового хода температур воздуха и хода температур воздуха по сезонам (приложение 3). Максимальные температуры воздуха наблюдаются в июле и достигают более 18 °С (рис. 2). Минимумы наблюдаются в январе - менее -30°С (рис. 3).



Рисунок 2 Межгодовой ход летних температур воздуха ст. Мамакан



Рисунок 3 Межгодовой ход зимних температур воздуха ст. Витим

В целом для всех станций можно отметить значимый линейный тренд весенних и летних температур (рис. 4 и 5)

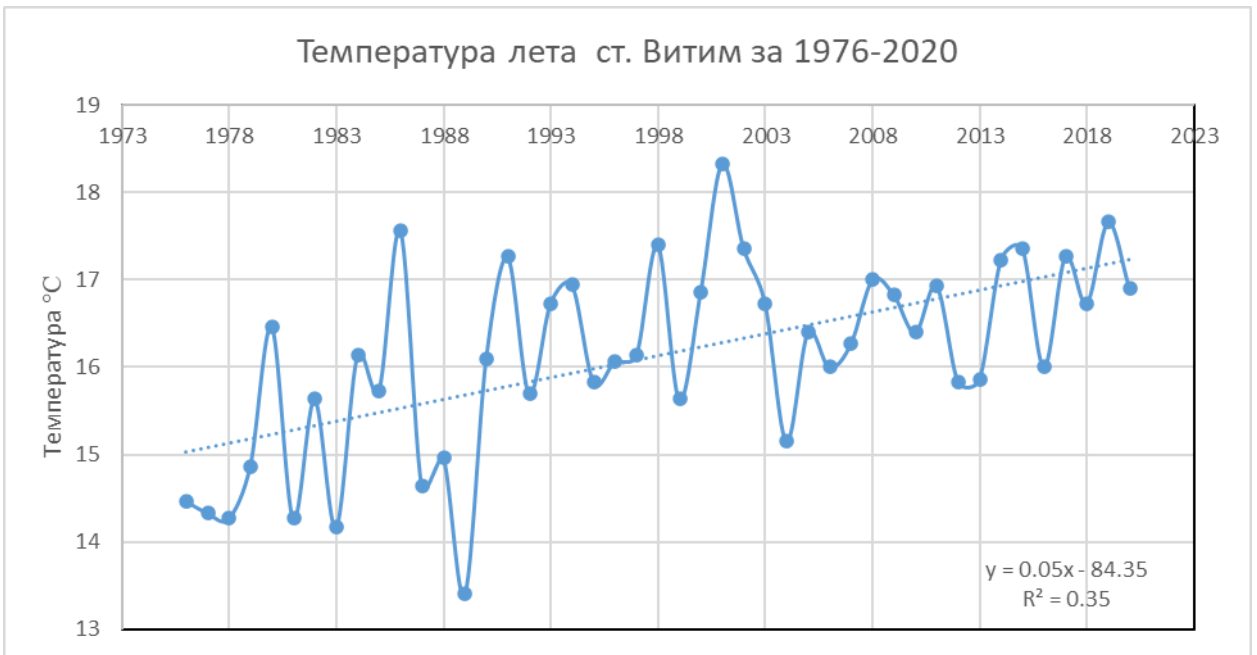


Рисунок 4 Межгодовой ход летних температур воздуха ст. Витим



Рисунок 5 Межгодовой ход весенних температур воздуха ст. Витим

Внутригодовой ход температур воздуха по трем станциям схож, наибольшая амплитуда температуры воздуха наблюдается на станции Мамакан (рис. 6)

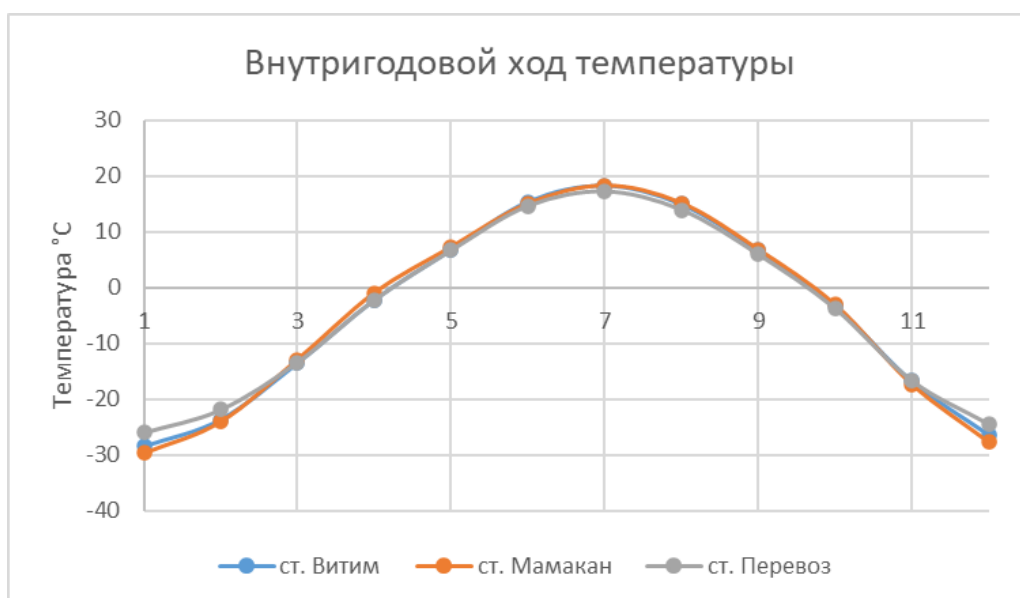


Рисунок 6 Внутригодовой ход температуры воздуха по станциям (1976-2021 гг.)

В таблице 2 приведены данные о коэффициентах линейного тренда из Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год и рассчитанных по данным метеостанции Перевоз, Бодайбо и Мамакан. Коэффициенты линейного тренда годового хода температур воздуха примерно совпадают. Коэффициенты линейного тренда по сезонам, в свою очередь, выше, чем в оценочном докладе (Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2022). По всем станциям прогнозируется увеличение годовой температуры воздуха примерно на 0,48°C за 10 лет (рис. 7).

Таблица 2 Коэффициенты линейного тренда (°C/10 лет) осредненной температуры приземного воздуха (годовой и по сезонам)

	Станция Мамакан	Станция Витим	Станция Перевоз	Оценочный доклад (Прибайкалье и Забайкалье)
Год	0.50	0.52	0,42	0,42
Зима	0.49	0.38	0,35	0,29
Весна	0.64	0.52	0,71	0,66
Лето	0.45	0,17	0,53	0,46
осень	0.19	0.04	0,10	0,24



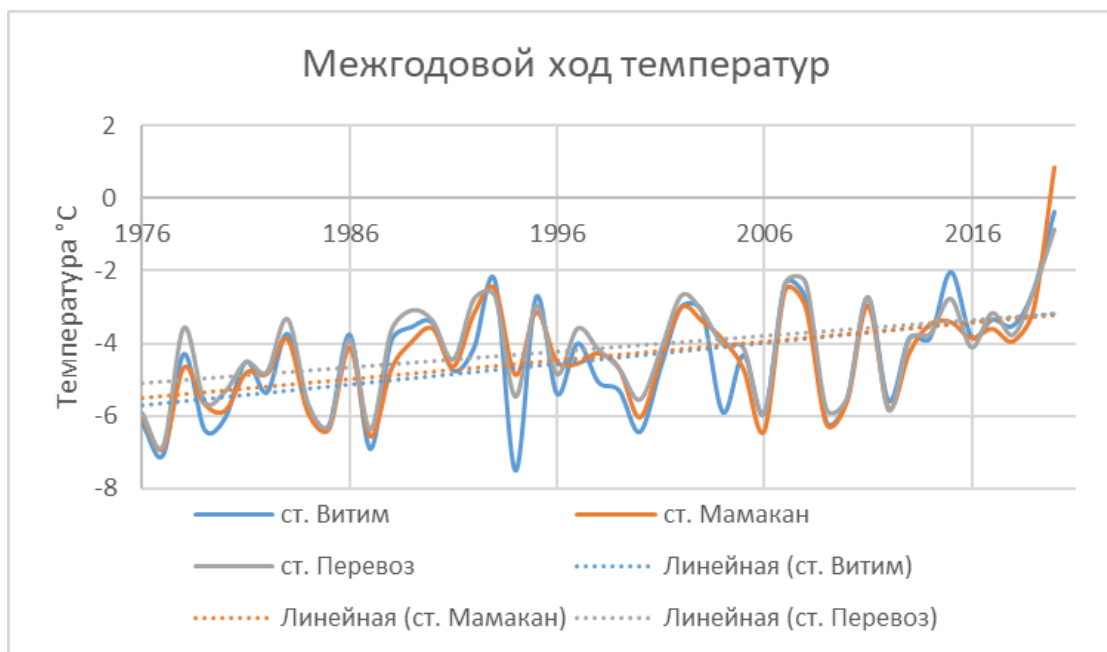


Рисунок 7 Межгодовой ход температуры воздуха по станциям

### 3.2 Осадки

Количество и распределение осадков играют фундаментальную роль в формировании стока рек и определяют доступность водных ресурсов. Осадки наполняют речные бассейны, вносят необходимую влагу в почву и способствуют наполнению рек и потоков. Важность осадков в формировании стока рек можно выразить следующим образом:

1. Пополнение водных ресурсов: Осадки являются ключевым источником воды для рек и водных систем. При падении дождя или таянии снега вода поступает в почву, грунтовые воды и реки, обеспечивая необходимый объем водных ресурсов для поддержания жизнедеятельности экосистем и удовлетворения потребностей людей.
2. Регулирование режима стока: Осадки оказывают прямое влияние на объем и скорость стока рек. При обильных осадках реки могут иметь высокий сток, что способствует наполнению водохранилищ, поддержанию нормального уровня воды в реках и обеспечению водных потоков для сельского хозяйства, промышленности и других секторов экономики. В периоды недостатка осадков реки могут испытывать низкий сток, что может приводить к снижению доступности воды и возникновению проблем с водоснабжением.

3. Поддержание экологического равновесия: Осадки имеют важное значение для поддержания экологического равновесия в речных экосистемах. Они обеспечивают необходимую влагу для растительности, поддерживают водные биотопы и обеспечивают жизненно важные условия для множества организмов, включая рыбы, птиц и другие водные виды.
4. Управление рисками: Правильное учета осадков позволяет эффективно управлять рисками, связанными с паводками и засухами. Адекватный мониторинг осадков и прогнозирование погоды позволяют предупреждать о возможных паводках и принимать соответствующие меры по защите людей и имущества.

Для станций Мамакан, Перевоз и Витим были построены графики межгодового, внутригодового хода осадков, а также межгодового хода по сезонам года (приложение 3). Во внутригодовом распределении осадков максимум приходится на июль-август и начало осени. Минимальные значения приходятся январь-март (рис. 8). В межгодовом распределении осадков наблюдается положительный значимый рост линейного тренда для всех трех станций (рис. 9). Годовые суммы осадков достигают 700 мм (ст. Мамакан), минимальные значения сумм опускаются до 200 мм (ст. Перевоз).



Рисунок 8 Внутригодовой ход осадков ст. Перевоз (1976-2021 гг.)

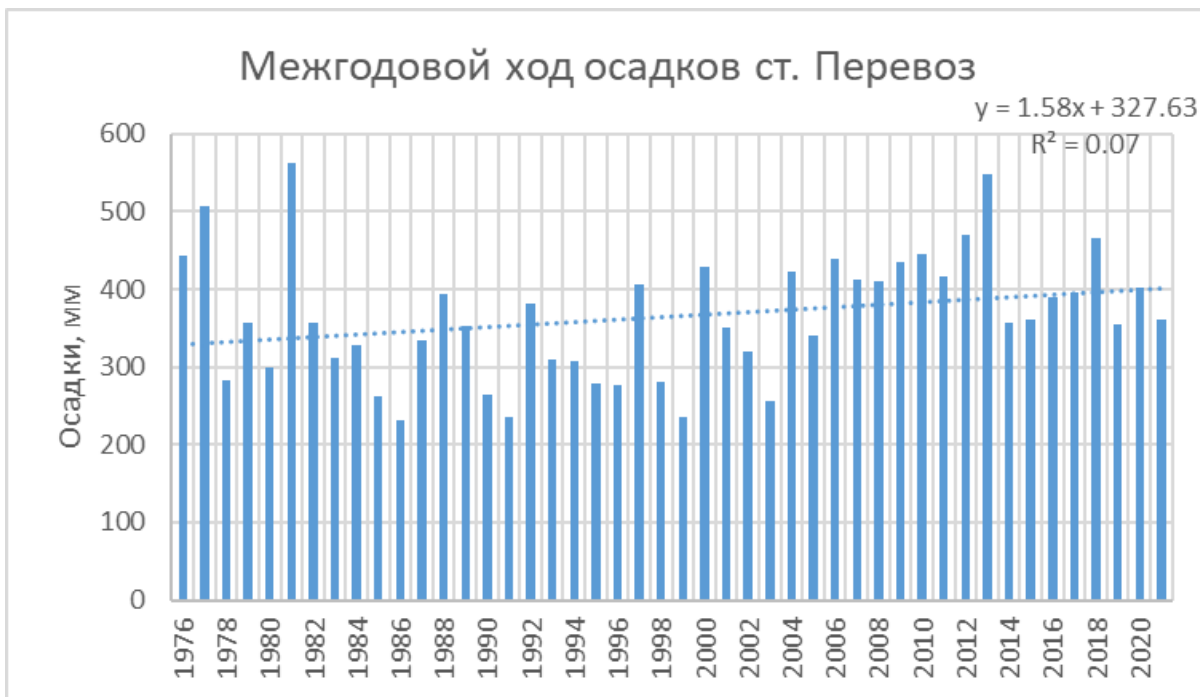


Рисунок 9 Межгодовой ход осадков ст. Перевоз

Также были построены графики отклонения от нормы в % и абсолютных значениях. За норму было взято среднее значение за 1960-1990 года. Графики отклонения от нормы осадков позволяют визуально представить изменения в количестве осадков в течение определенного периода времени. Они позволяют увидеть, как отклонения от нормы влияют на общую картину осадков в регионе. По полученным графикам можно отметить положительное отклонение от нормы за последние десятилетия (рис. 10).



Рисунок 10 Отклонение от нормы ст. Перевоз в абсолютных значениях

Таблица 3 Коэффициенты линейного тренда (мм/месяц/10 лет) сумм осадков (годовой и по сезонам)

	Станция Мамакан	Станция Витим	Станция Перевоз	Оценочный доклад (Прибайкалье и Забайкалье)
Год	0.35	0.46	1.31	0.6
Зима	<b>0.48</b>	<b>0.84</b>	<b>0.55</b>	<b>0.4</b>
Весна	1.73	0.08	1.20	0.6
Лето	0.93	0.15	1.85	0.6
осень	0.26	1.07	1.67	0.9

В таблице 3 приведены коэффициенты линейного тренда по станциям и согласно третьему оценочному докладу. Значимыми оказались только зимние тренды.

### 3.3 Давление

Внутригодовой ход давления в Бодайбинском районе (рис. 11), как и в других регионах, определяется сезонными изменениями атмосферных условий и климатическими факторами. Вот основные характеристики внутригодового хода давления:

1. Зимний период: в зимние месяцы, особенно в декабре и январе, в Иркутской области наблюдается высокое давление. Это связано с преобладанием антициклонических систем и холодным сухим воздухом, которые обычно приводят к ясной и холодной погоде.
2. Весенний период: весной давление начинает снижаться, особенно в апреле и мае. Это связано с увеличением атмосферных циклонов и изменением температуры воздуха. Весенний период в Иркутской области может быть периодом переменной погоды с частыми осадками.
3. Летний период: летом давление обычно остается относительно низким. В Иркутской области это время сильной циклонической активности, связанной с формированием конвективных систем, грозами и осадками. Лето может быть периодом переменной погоды с прохладными и дождливыми периодами.
4. Осенний период: в начале осени давление вновь начинает повышаться, особенно в сентябре и октябре. Это связано с установлением стабильной

антициклонической погоды после периода летних циклонов. Осень в Бодайбинском районе обычно сопровождается солнечными и теплыми днями.

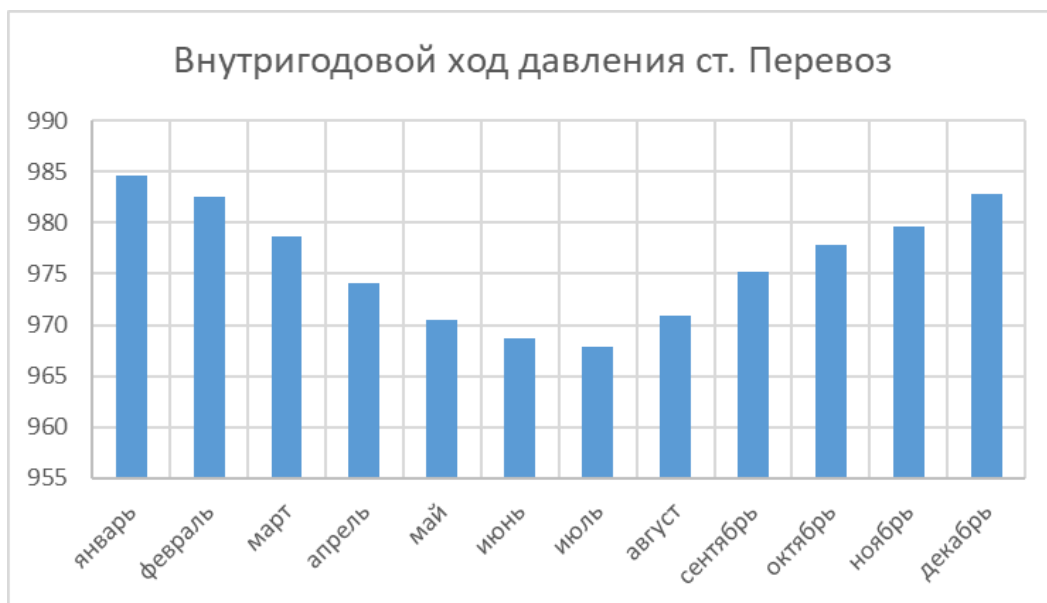


Рисунок 11 Внутригодовой ход давления ст. Перевоз (1976-2021 гг.)

### 3.4 Упругость водяного пара

Упругость водяного пара зависит от многих факторов, включая температуру и влажность воздуха. Обычно упругость водяного пара увеличивается с повышением температуры и влажности. Во внутригодовом распределении упругости водяного пара максимум наблюдается в июле, минимум в январе, что коррелируется с внутригодовым ходом температуры.

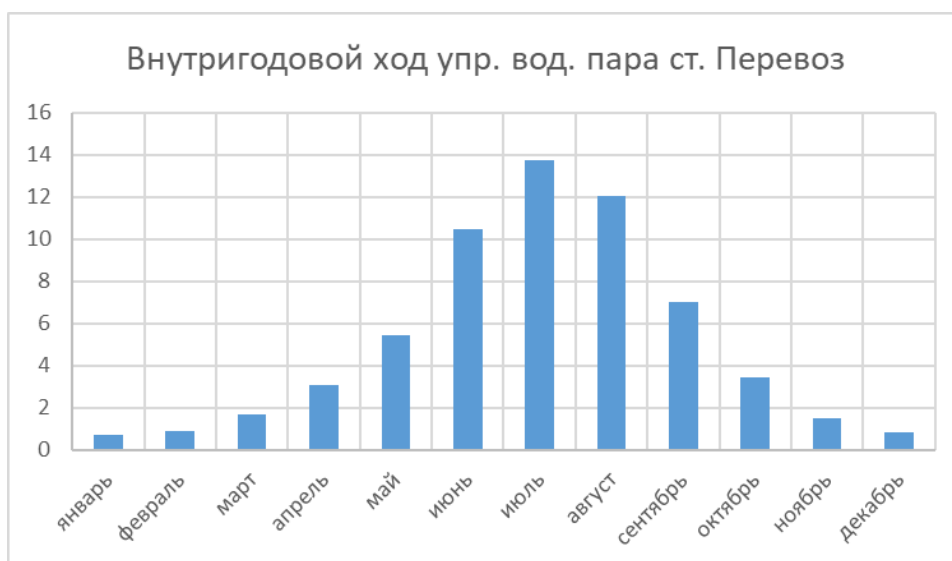


Рисунок 12 Внутригодовой ход упр. водяного пара ст. Перевоз (1976-2021 гг.)

#### Глава 4. Гидрологическое описание изучаемых рек Бодайбинского района.

Как уже было сказано ранее, объектом исследования в работе являются 6 рек, протекающих на территории Бодайбинского района: р. Мама, р. Витим, р. Чуя, р. Большой Патом, р. Чара и р. Жуя (табл. 4). Рассмотрим их водные характеристики, а также конкретные гидрологические посты, размещенные в их бассейнах (рис. 13).

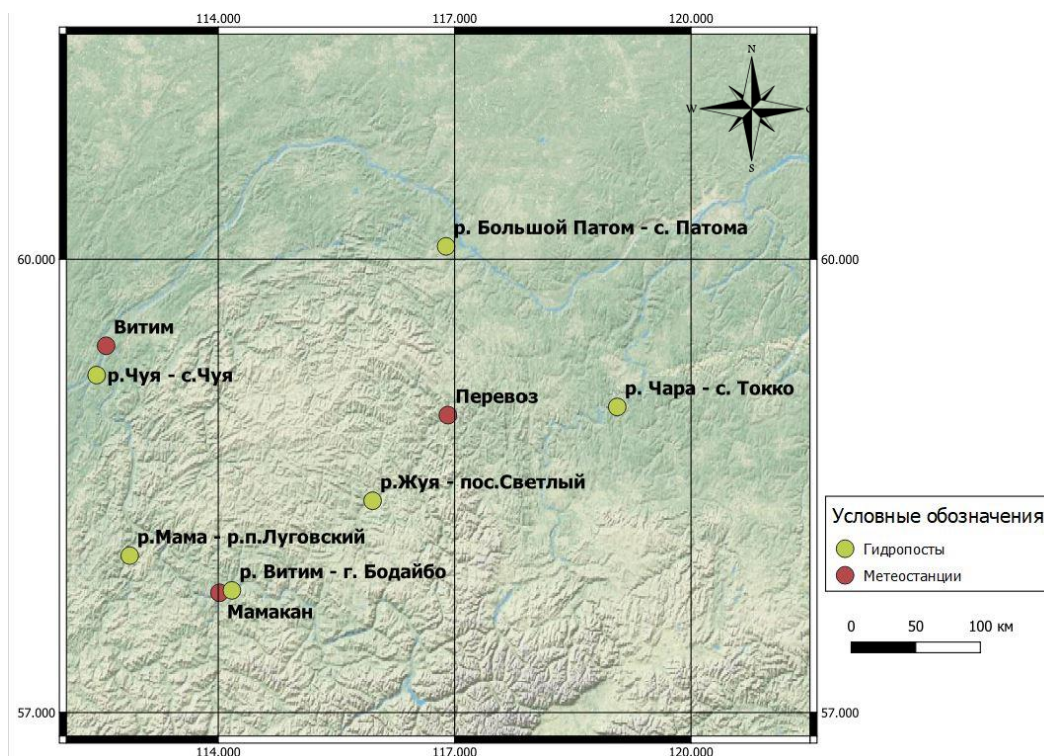


Рисунок 13 Расположение гидропостов

Таблица 4 Характеристика гидрологических постов (Ресурсы поверхностных вод, 1972)

Название водного объекта	Название поста	Код поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, кв. км	Отметка нуля поста		Год открытия
					высота, м	система высот	
р. Мама	р.п.Луговский	03150	34	18400	234.05	БС	1969
р. Витим	г. Бодайбо	03106	294	16900	234.95	БС	1944
р. Чуя	с. Чуя	03554	1	18400	179.00	БС	1978
р. Чара	с. Токко	03180	121	62500	143.80	БС	1933
р. Большой Патом	с. Патома	03157	34	27600	152.58	БС	1934
р. Жуя	п. Светлый	03198	2	4790	401.00	БС	1944

#### **4.1 Р. Большой Патом- с. Патома**

Река Большой Патом является правым притоком реки Лены и расположена на территории Иркутской области. Ее длина составляет около 570 км, площадь бассейна – примерно 28 400 км<sup>2</sup>.

Большой Патом протекает через горные массивы, имеет горнолесной характер и характеризуется быстрым течением. В верхнем течении, на расстоянии около 220 км от устья, на реке расположен Большопатомский гидроузел, состоящий из ГЭС и ХЭС.

В среднем годовом стоке реки Большой Патом наблюдается сезонность, связанная с выпадением осадков и таянием снега. Наибольший сток приходится на месяцы мая-июнь, а минимальный – на февраль-март.

Река Большой Патом является важным водным объектом региона, обеспечивая водоснабжение и водоотведение многих населенных пунктов и промышленных предприятий, а также используется для судоходства.

Гидропост расположен в с. Патома, в 100 м на север от сельсовета. Долина реки трапецеидальная, асимметричная, шириной по дну 5-6 км. Склоны долины крутые, высотой 100-150 м, сильно расчлененные, поросшие смешанным лесом с преобладанием хвойный пород. Левый склон террасирован, на террасе расположено село. Пойма односторонняя, правобережная, шириной до 3 км, луговая, заболоченная, местами заросшая лесом, начинает затопляться при уровне 525 см.

Русло реки прямолинейное, сложено галькой и валунами, деформирующееся в паводки, неразветвленное. Берега реки высотой 6-8 м, сложены супесчаным и суглинистым грунтом, задернованные, устойчивые; правый – умеренно крутой, у бровки – пологий, левый – крутой. В 0,9 км ниже поста находятся два острова, у которых ежегодно образуются заторы льда в период вскрытия реки. В 0,3 км выше поста расположен пережат, частично перемерзающий. В редкие годы на участке поста образуются наледи речных вод (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### **4.2 Р. Чара – с.Токко**

Река Чара — это река на северо-востоке России, протекающая по территории Республики Саха (Якутия) и Красноярского края. Длина реки составляет около 851км, площадь водосборного бассейна — 87600 км<sup>2</sup>.

Река Чара имеет горный характер, протекает по Якутской и Патомской возвышенностям, на её территории находятся горы Сунтар-Хайата. Река питается преимущественно снеговыми и дождевыми водами, сезонный режим характеризуется большой разницей между летними и зимними расходами воды.

Водный режим реки Чара имеет большое значение для формирования ленской водной системы. Река имеет большую экологическую и экономическую важность, так как в её бассейне расположены богатые рыбные запасы, а также на реке возможна организация речного транспорта и производство гидроэлектроэнергии.

На реке Чара находятся несколько крупных населенных пунктов, среди которых город Чара, население которого превышает 6 тысяч человек, а также поселки и села. Туризм на реке Чара также развит, здесь можно найти множество живописных мест, водопадов и горных пейзажей.

Гидропост расположен в 150 м на запад от Дома культуры. Долина реки ящикообразная. Склоны долины высотой 50-70 м поросшие хвойным лесом; правый – умеренно крутой, левый почти отвесный. Пойма односторонняя, левобережная, высокая, шириной 4-5 км, поросшая молодым смешанным лесом, сложена песчаным и торфяным грунтами, затопляется в исторические паводки. в 300 м ниже поста пойма двусторонняя; правобережная начинает затопляться при уровне 813 см.

Русло реки умеренно извилистое, на участке поста прямолинейное, галечное. В 0,3 км ниже поста вдоль левого берега образуется песчаная отмель, в 1,0 км ниже расположен пережат и несколько островов. Берега реки крутые; правый – высотой 15-20 м, сложен суглинистым, супесчаным и песчаным грунтами, размываемый, левый – крутой, высотой 4-7 м, сложен песчаным и супесчаным грунтами с примесью гальки, задернованный, устойчивый.

В период весеннего ледохода выше и ниже поста образуются заторы льда. Река не перемерзает и не пересыхает (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### **4.3 Р. Жуя – прииск Светлый**

Жуя — река в Иркутской области России, левый приток Чары. Длина реки — 337 км. Площадь водосборного бассейна — 22 600 км<sup>2</sup>. Река замерзает в октябре и остаётся под ледяным покровом до мая. Питание снеговое и дождевое. Среднегодовой расход воды —



54 м<sup>3</sup>/с. Протекает через озеро Толендо. Притоки: с правой стороны — Нечора, с левой — Хомолхо. Населённые пункты на реке — Светлый, Перевоз при впадении реки Хомолхо, Чара в устье.

Гидропост расположен в западной части прииска, в 3,4 км ниже впадения р. Кадали. Долина реки трапецеидальная, шириной по дну до 3 км. Склоны долины скальные, умеренно крутые, сильно рассечённые, высотой до 500 м, поросшие хвойным лесом, переходят в горы-гольцы прилегающей местности. Левый склон террасирован: терраса шириной до 2,5 км, сложена супесчаным грунтом, поросшая хвойным лесом и кустарником. На террасе имеется несколько небольших озёр. Дно долины большей частью незатопляемое, умеренно песчаное. Пойма односторонняя, левобережная, луговая, шириной 140 м, начинает затопляться при уровне 480 см. Течение на пойме отсутствует.

Русло реки умеренно илистое, на участке поста прямолинейное, галечно-валунное с наличием песка, неразветвленное, устойчивое. Ближайшие перекаты расположены в 380 м выше и 300 м ниже поста; в 1,5 км выше и 0,9 км ниже находятся отмели.

Берега реки песчано-галечные, задернованные, поросшие кустарником; правый — крутой, высотой до 6 м, устойчивый, левый — пологий, ближе к бровке крутой, высотой до 3,5 м.

С 1991 по 1995 гг. створ был закрыт, данных измерений нет (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### **4.4 Р. Витим – г. Бодайбо**

Река Витим разошлась на 1 837 километров в длину. Ее максимальная ширина показывает себя в эстуарии (5,8 километров). Средний же показатель не превышает 350 метров. Площадь – 225 000 квадратных километров. Глубина потока порой достигает до 7 метров. Водная «артерия» пересекает исключительно горные районы, принадлежащие Бурятии, Забайкальскому краю, Иркутской области и Якутии. Средний расход воды равен 1 520 кубометрам в секунду. Питание смешанное. Притоков около тысячи. Самые значительные – Куанда, Каренга, Цыпа, Муя, Калакан, Мамакан, Калар, Мама, Бодайбинка и Таксима.

Гидропост расположен напротив здания комбината в 2.4 км выше устья р.Бодайбо. Прилегающая местность гористая, с высотами до 800 м. Долина реки беспойменная, шириной до 5 км.

Русло реки прямолинейное, устойчивое, сложено из валунов, гальки, песка. Левый берег крутой, скальный, переходит в склон долины. Правый берег до средних уровней - пологий, затем крутой, затопляемый при исключительно высоких уровнях воды.

В 2.4 км ниже, у впадения рек Бодайбо и Бисяга, расположен пережат, в районе которого образуются заторы льда, а в осенне-зимний период-зажоры. В 620 м выше поста находится песчаный, без растительности, остров, затопляемый при уровнях выше 100 см, в 4 км выше поста-незатопляемый остров, Опасная отметка, выше которой возникает угроза затопления народнохозяйственных объектов - 900 см.

Пост свайный, находится на правом берегу.

Отметка нуля поста 234.95 м БС. Гидроствор 1 расположен в створе поста, оборудован створными знаками для измерения расходов воды с катера. Нижний уклонный пост расположен в 850 м от поста, верхним служит пост (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### **4.5 Р. Чуя – с. Чуя**

Река Чуя, также известная как Большая Чуя, протекает на территории Бурятии и Иркутской области в районах Северо-Байкальск и Мамско-Чуйский, являясь правым притоком реки Лены.

Общая длина реки составляет 512 км, а площадь её водосборного бассейна составляет 18 400 км<sup>2</sup>. Река замерзает в октябре и остаётся под льдом до мая. Начинается река на хребте Сынныр и протекает через Северо-Байкальское нагорье.

Главный приток Чуи — это Малая Чуя, впадающая в неё левым притоком на расстоянии 52 км от устья.

Гидропост расположен в 2.1 км от устья, в 4.0 км к ЮЗ от села.

Долина реки неясно выраженная, сливается с долиной р.Лена, Левый склон долины пологий, террасированный, сложен суглинком, поросший лесом, занят сельскохозяйственными угодьями. Правый склон умеренно крутой, поросший смешанным

лесом, сложен скальным грунтом. Дно долины пойменное, Пойма односторонняя, левобережная, сухая, начинает затопляться при уровне 750 см.

Русло реки на участке поста прямолинейное, галечно-каменистое, устойчивое Левый берег пологий, высотой до 8 м, правый - крутой, высотой до 10 м. Выше поста в 4-5 км расположены острова и перекаты. В устьевой части реки образуются заторы и зажоры льда.

Пост находится в зоне переменного подпора от р. Лены, который распространяется до 2 км выше поста.

Отметка нуля поста 179.00 м БС.

Нижний уклонный пост расположен в 1 км от поста, верхним-служит пост. Гидроствор 1 совмещен с постом и оборудован тросово-лодочной переправой (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### **4.6 Р. Мама – р.п. Луговский**

Река Мама, левый приток реки Витим, находится в Иркутской области России. Образуется слияниемлевой Мамы и Правой Мамы, которые берут начало на северных склонах Верхнеангарского хребта. Река извилиста, её длина составляет 406 км (от истокалевой Мамы), а площадь бассейна - 18,9 тыс. км<sup>2</sup>. Длина от места слияния Правой Мамы илевой Мамы до устья составляет 211 км. Основные притоки Мамы включают Большую Слюдянку, Большую Угли, Конкудеру, Кавергу, Большой Угдокит и Майгунду.

На реке Мама судоходство возможно от места впадения реки Брамьи до устья на протяжении 110 км. Питание преимущественно дождевое, а половодье наблюдается с мая до сентября. Река замерзает в октябре и открыта для плавания с мая. Характерны летние дождевые паводки.

Гидропост расположен в 0.7 км ниже устья р. Луковка, в 250 м к ЮВ от посёлка. Долина реки V-образная, беспойменная, шириной по дну 0.3 км. Левый склон долины крутой, высотой до 200 м, правый - пологий, высотой до 500 м. Оба склона сложены скальным грунтом, поросли смешанным лесом.

Русло реки извилистое, с крутыми и незатопляемыми берегами, сложено крупной галькой и валунами. В 1.2 км выше поста находится остров, в 200 м выше и в 2.5 км ниже - перекаты, где образуются заторы и зажоры льда. В 1.0 км выше поста имеется паромная переправа.

Отмена нуля поста 234.05 м БС.

Нижний уклонный пост расположен в 313 м ниже поста, верхним служит пост. Гидроствор номер 1 расположен в 313 м ниже поста, оборудован тросово-лодочной переправой (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

#### 4.7 Разностные интегральные кривые

Для выявления особенностей цикличности водности рек были построены разностные интегральные кривые среднегодового стока рек района исследований и далее проведен анализ кривых и динамики стока, выявлена продолжительность циклов водности рек. Анализ интегральных кривых расходов воды рек исследуемого района проводился для рек Жуя, Чара и Большой Патом.

На рисунке 14 представлены совмещенные графики разностных интегральных кривых для рассматриваемых рек. Из графиков хорошо видно, что период с 1980 г. по 2010 г. можно считать маловодным. Так нормированные значения стока ниже нуля отмечаются для р.Жуя с 1982 по 2010 г. Для р. Большой Патом начало маловодного периода приходится на 1983 г., нормированные значения ниже «0» - с 1992 по 2008 г. Для р.Чара уменьшение стока и маловодный период характерен был для 1987-2015 гг. Таким образом, из совмещенного графика интегральных кривых трех рек видно, что наименьшей период циклов водности характерен для р. Большой Патом и составляет порядка 16 лет. Период большой водности на р. Б.Патом отмечался с 2008 по 2021 г. Для р. Жуя маловодный период продолжался 28 лет, для р. Чара – 32 года. Однако нельзя в настоящий момент говорить о многоводности для р. Жуя и Чара, т.к. пики стока пришлись на 2012 и 2016 гг. соответственно, но через 2 года сток рек снова пошли на уменьшение.

Таким образом, можно заключить об уменьшении стока р. Жуя, Чара за период с начала 80-х годов по настоящее время. Многоводного периода для этих рек в начале XXI-го века почти не отмечается: нормы стока выше «0» характерны только для 3-х лет. Для р.Б.Патом можно говорить о циклах водности продолжительностью 16-20 лет. В целом, все три рассматриваемые реки находятся в настоящий момент в новом маловодном периоде, - уменьшение стока стало происходить с 2012 г. для р.Жуя и Б.Патом и с 2016 г. – для р.Чара. Судя по характеру графиков, можно также говорить о возможной антропогенной нагрузке на реки Жуя и Чара, и о более естественном водном режиме р.Б.Патом.

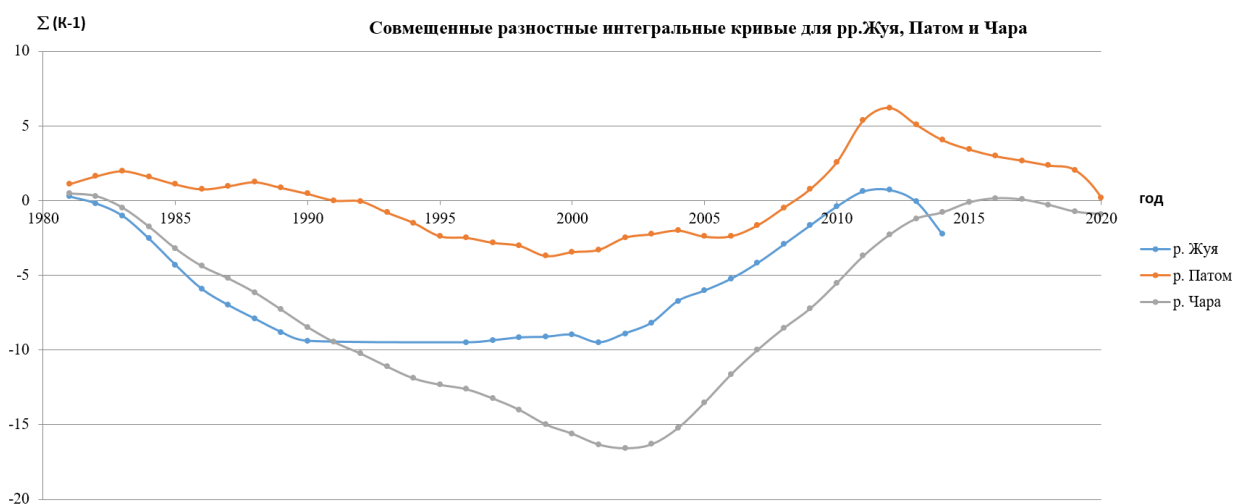


Рисунок 14 Совмещенные интегральные кривые

#### 4.8 Многолетнее изменение стока исследуемых рек

Согласно проведенным исследованиям рядов измеренных данных было выявлено, что происходит общее уменьшение стока р. Жуя и Чара. Водность р. Б.Патом пока не претерпевает сильных изменений. Для анализа изменений внутригодового изменения стока рек для маловодных, средневодных и многоводных лет, были построены совмещенные графики для двух периодов (до начала 90-х годов прошлого века – фоновый период) и последние 20 лет (современный период), а также диаграммы распределения стока по месяцам для этих двух периодов. Ниже в таблицах представлены средние значения расходов воды для двух рассматриваемых периодов. На рисунках отображено внутригодовое распределение стока воды за два рассматриваемых периода.

##### Река Жуя – пр-к Светлый.

Для реки Жуя сравнение гидрографов стока в мало-, средне- и многоводные года (рис. 15) двух периодов показало, что минимальный сток воды периода примерно одинаков, в то время как в средне- и многоводные года в современный период наблюдается увеличение стока в половодье и его небольшое уменьшение в летнюю межень. В лимитирующий (зимний) период изменений не отмечается.

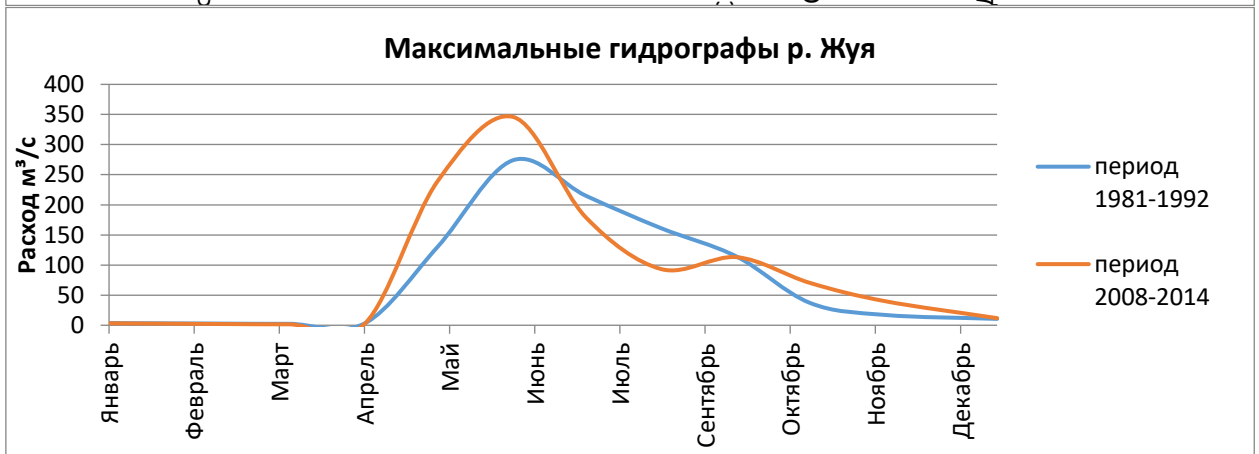
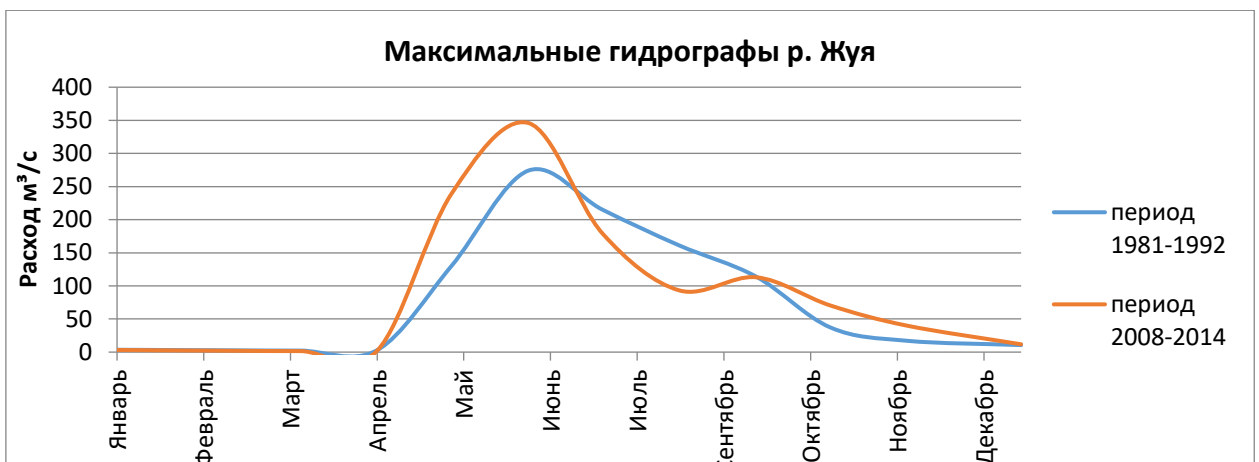
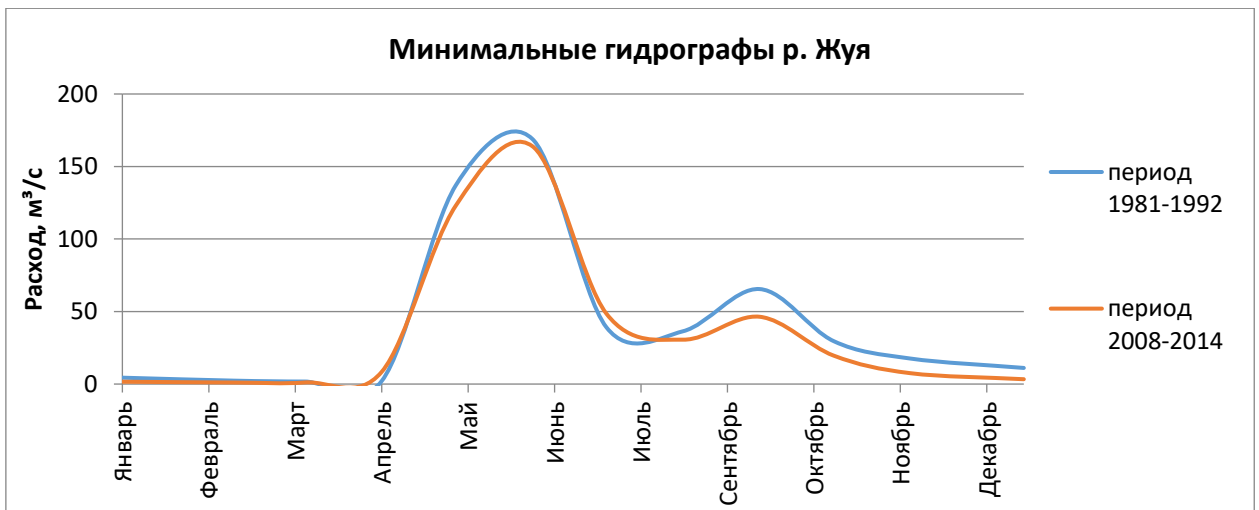


Рисунок 15 Гидрографы стока в мало-, средне- и многоводные года для р. Жуя

Сравнение внутригодового распределения стока в два периода (фоновый и современный) представлено в таблице 5 и на рисунке 16. Из диаграмм видно, что большого перераспределения стока не произошло. Лишь на 1% происходит увеличение стока воды в половодье в мае, уменьшение стока в июне и его увеличение в сентябре и октябре в период осенних паводков. Уменьшение средних за лимитирующий период значений стока (декабрь-март) меняется слабо.

Таблица 5 Средние многолетние месячные значения расходов воды (м3/с) р.Жуя для периодов 1981-1990 и 2008-2014 гг.

Период	январь	февраль	март	апрель	Май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Ср. годовой расход воды, (м3/с)
1983-1990	4,25	2,65	2,59	3,95	126,9	217,3	104,3	75,92	75,49	32,17	15,57	9,72	670,81
2008-2014	2,76	1,19	1,17	5,29	183,0	239,9	140,8	101,7	119,0	66,11	34,03	11,21	906,16

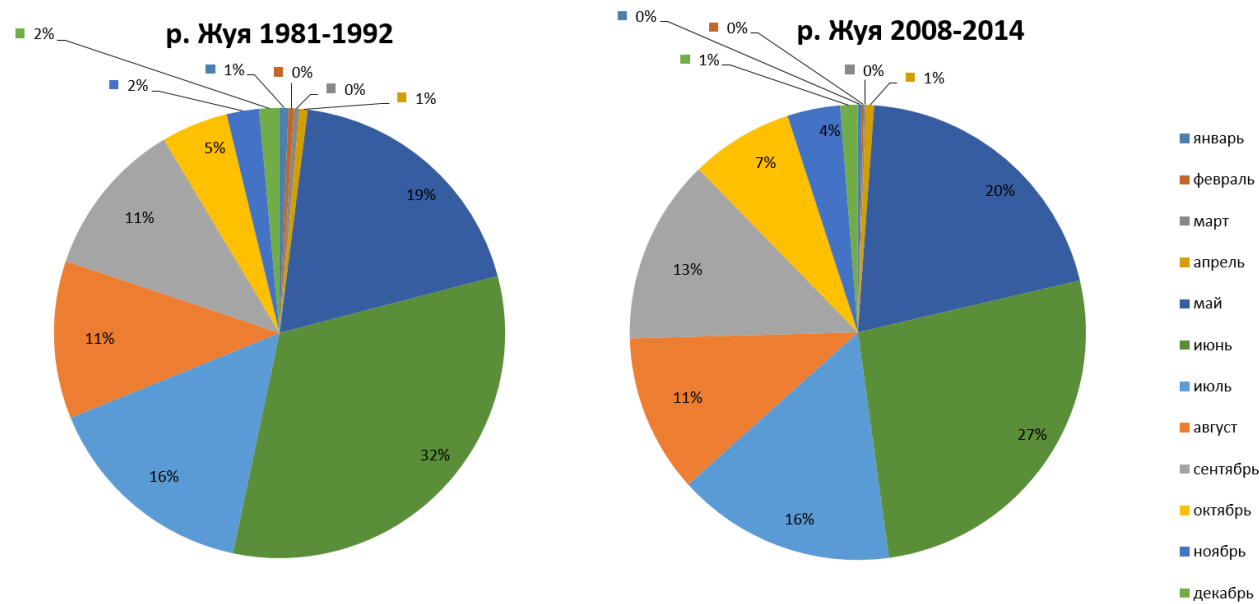


Рисунок 16 Средние многолетние значения расходов воды р. Жуя для периодов 1981-1990 и 2008-2014 гг.

В таблице 6 представлены года и значения расходов воды для р.Жуя для мало-, средне- и многоводных лет двух периодов.

Таблица 6 Значения расходов воды в мало-, средне- и многоводные года двух периодов для р.Жуя

Период	период 1983-1990 фоновый		период 2008-2014 современный	
	год	Среднегодовой расход воды, м3/с	год	Среднегодовой расход воды, м3/с
маловодный год периода	1985	45.5	2014	37.9
многоводный год периода	1981	80.9	2012	91.8
средневодный год периода	1984	50.9	2011	74.1

Для определения внутригодовых изменений стока воды построены диаграммы для мало-, средне- и многоводных лет двух периодов.



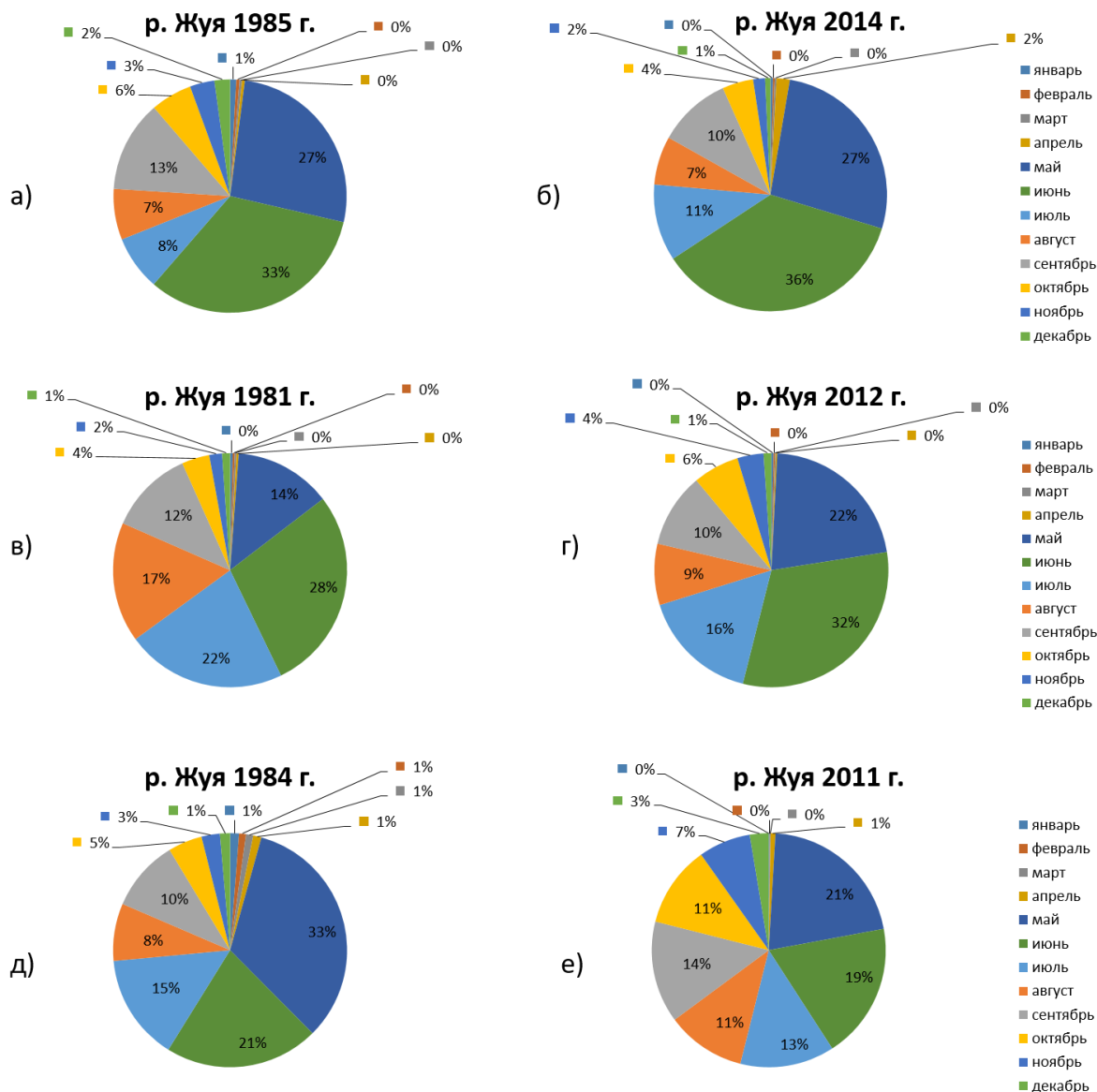


Рисунок 17 Диаграммы внутригодового распределения стока воды р.Жуя для двух периодов маловодных лет (а, б)), многоводных лет (в и г)), средневодных лет (д) и е))

Из диаграмм (рис. 17) видно, что более значимые изменения стока происходят в много- и средневодные года современного периода по сравнению с фоновым. Так на май-июнь в многоводные года (1981 и 2012 гг.) приходилось 42% и 54% соответственно, а в средневодные (1984 и 2011 гг.) – 54% и 40%. Зимняя межень в маловодные года (1985 и 2014 гг.) уменьшилась с 12 до 9% годового стока, что говорит о том, что дефицит стока воды для р.Жуя) более существенно может сказаться именно в маловодные года.

### Река Большой Патом – с. Патома.

Для реки Большой Патом сравнение гидрографов стока в мало-, средне- и многоводные года (рис. 18) двух периодов показало, что в года с минимальным стоком воды произошло уменьшение половодного стока и его растянутость во времени до июля.

В года с максимальным стоком объем воды увеличивается на всех фазах водного периода. В средневодные года также отмечается растянутость половодья в современный период по сравнению с фоновым периодом. Осенний паводочный период растянут в настоящий момент до октября во всех случаях.

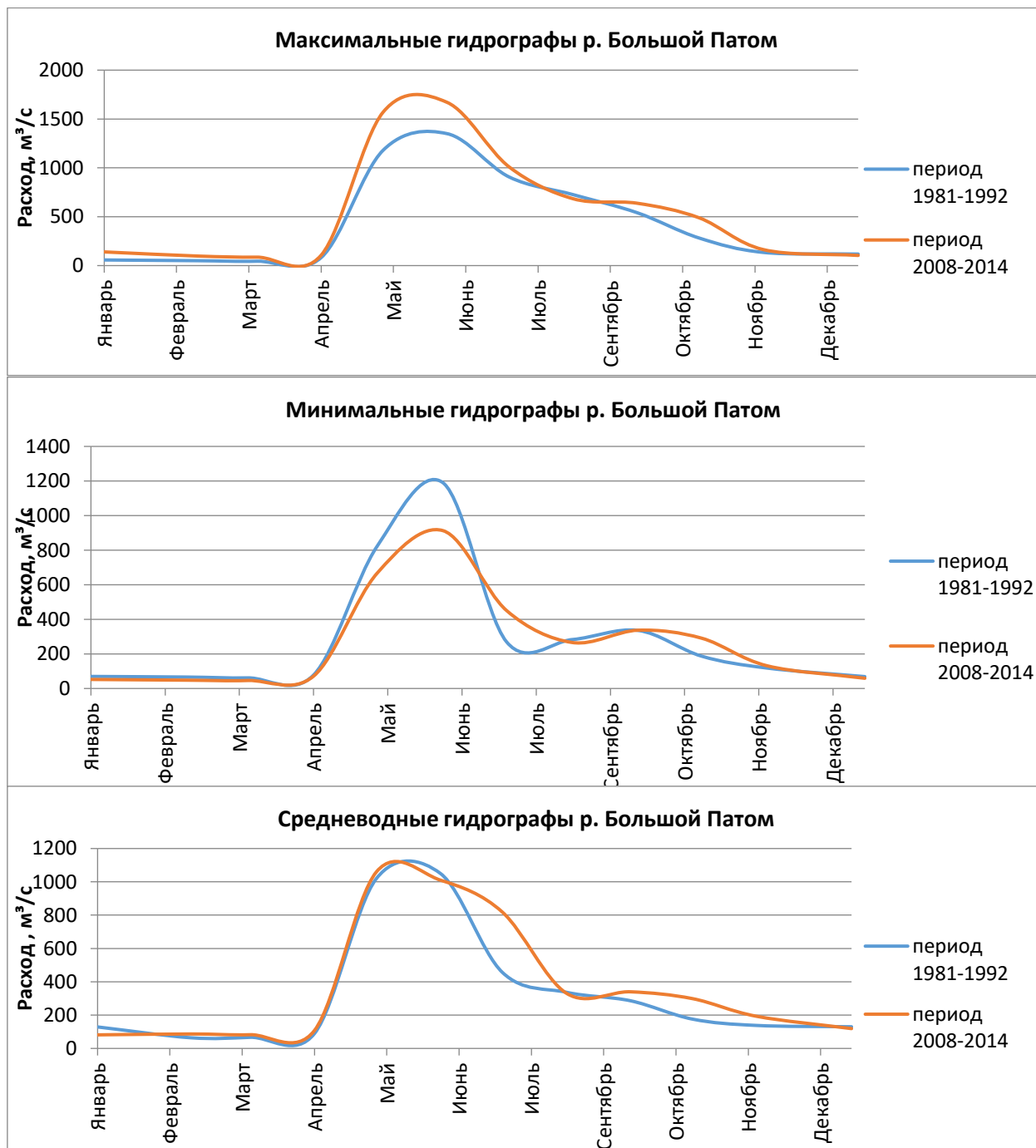


Рисунок 18 Гидрографы стока в мало-, средне- и многоводные года для р.Большой Патом

Сравнение внутригодового распределения стока в два периода (фоновый и современный) представлено в таблице 7 и на рисунке 19. Из диаграмм видно, что большого перераспределения стока не произошло: на 3% происходит уменьшение стока воды в половодье в июне и его увеличение на 2 % в сентябре и октябре в период осенних

паводков. Уменьшение средних за лимитирующий период значений стока (декабрь-март) почти не меняется.

Таблица 7 Средние многолетние месячные значения расходов воды (м<sup>3</sup>/с) р.Большой Патом для периодов 1981-1992 и 2008-2021 гг.

Период	январь	Февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Ср. годовой расход воды, (м <sup>3</sup> /с)
1983-1990	86,55	65,58	61,90	75,73	885,4	1351,1	589,3	434,8	372,4	233,5	148,0	120,9	4425,16
2008-2014	68,1	62,2	55,6	79,2	895,7	1266,8	607,7	435,8	470,0	330,8	181,4	111,3	4564,6

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации

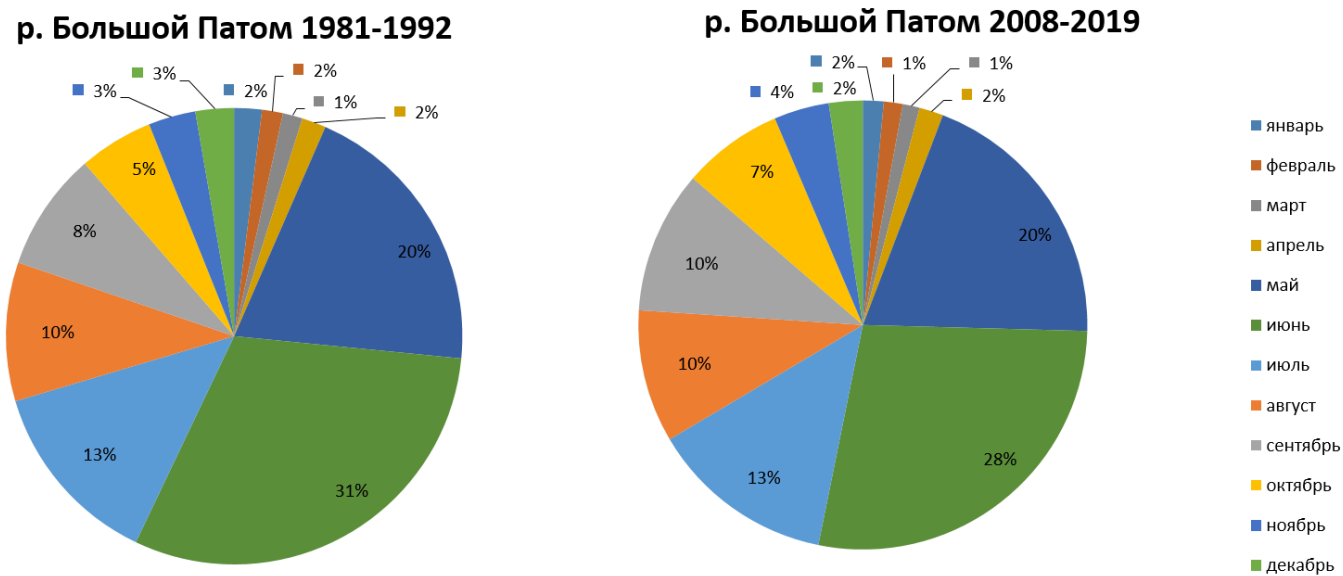


Рисунок 19 Средние многолетние месячные значения расходов воды р.Большой Патом для периодов 1981-1992 и 2008-2021 гг.

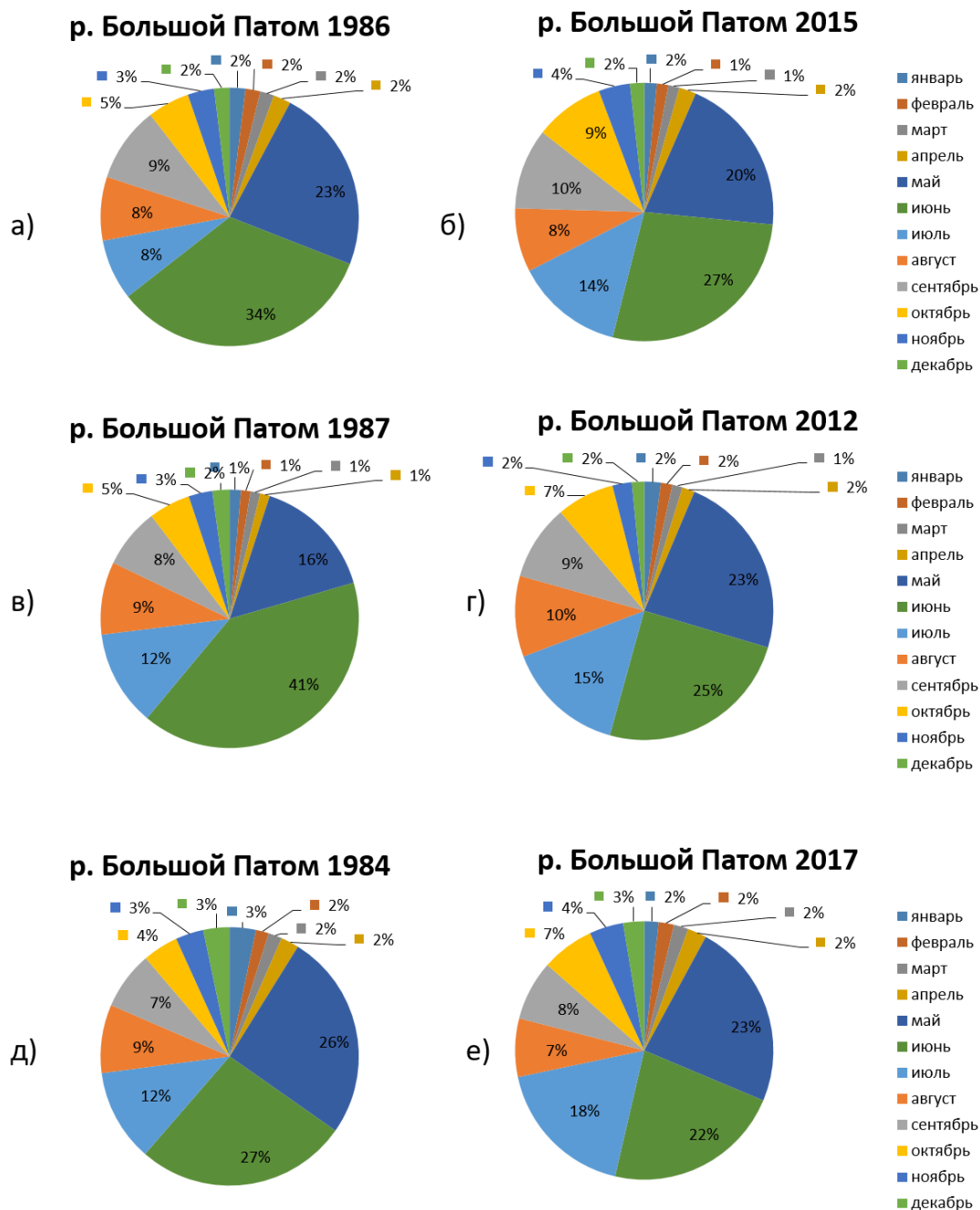


Рисунок 20 Диаграммы внутригодового распределения стока воды р.Большой Патом для двух периодов маловодных лет (а, б)), многоводных лет (в и г)), средневодных лет (д) и е))

Из диаграмм (рис. 20) видно, что произошло уменьшение половодного стока в июне во все года современного периода по сравнению с фоновым – на 5% в средневодный год 2017 и на 16% в многоводный (2012 г.). Сток воды в половодья сместился (перераспределился) на июль, увеличившись до 18% в средневодный год (2017 г.). В межженный зимний период существенного изменения стока не происходит. Немного

увеличивается сток в октябре (с 4% до 7% в средневодный год и от 5% до 9% - в маловодный). Зимний сток по-прежнему составляет 11-15 % от годового.

В таблице 8 представлены года и значения расходов воды для р.Большой Патом для мало-, средне- и многоводных лет двух периодов.

Таблица 8 Значения расходов воды в мало-, средне- и многоводные года двух периодов р.Большой Патом

Период	период 1983-1992 фоновый		период 2008-2021 современный	
	год	Среднегодовой расход воды, м3/с	год	Среднегодовой расход воды, м3/с
маловодный год периода	1986	295	2015	278
многоводный год периода	1987	422	2012	564
средневодный год периода	1984	309	2017	378

#### **Р.Чара – с.Токко.**

Для реки Чара сравнение гидрографов стока в мало-, средне- и многоводные года (рис. 21) двух периодов показало, что увеличение стока в современный период отмечается для мало-, средне- и многоводных лет. Для маловодных лет современного периода происходит также увеличение половодья по времени, его смещение на июль, а для лет многоводных и средневодных период максимального стока начинается раньше – еще в середине мая. Для многоводных годов отмечено длительное половодье с мая по середину сентября, в то время как в мало- и средневодные года выделяются летняя межень (июль) и осенние паводки в сентябре.

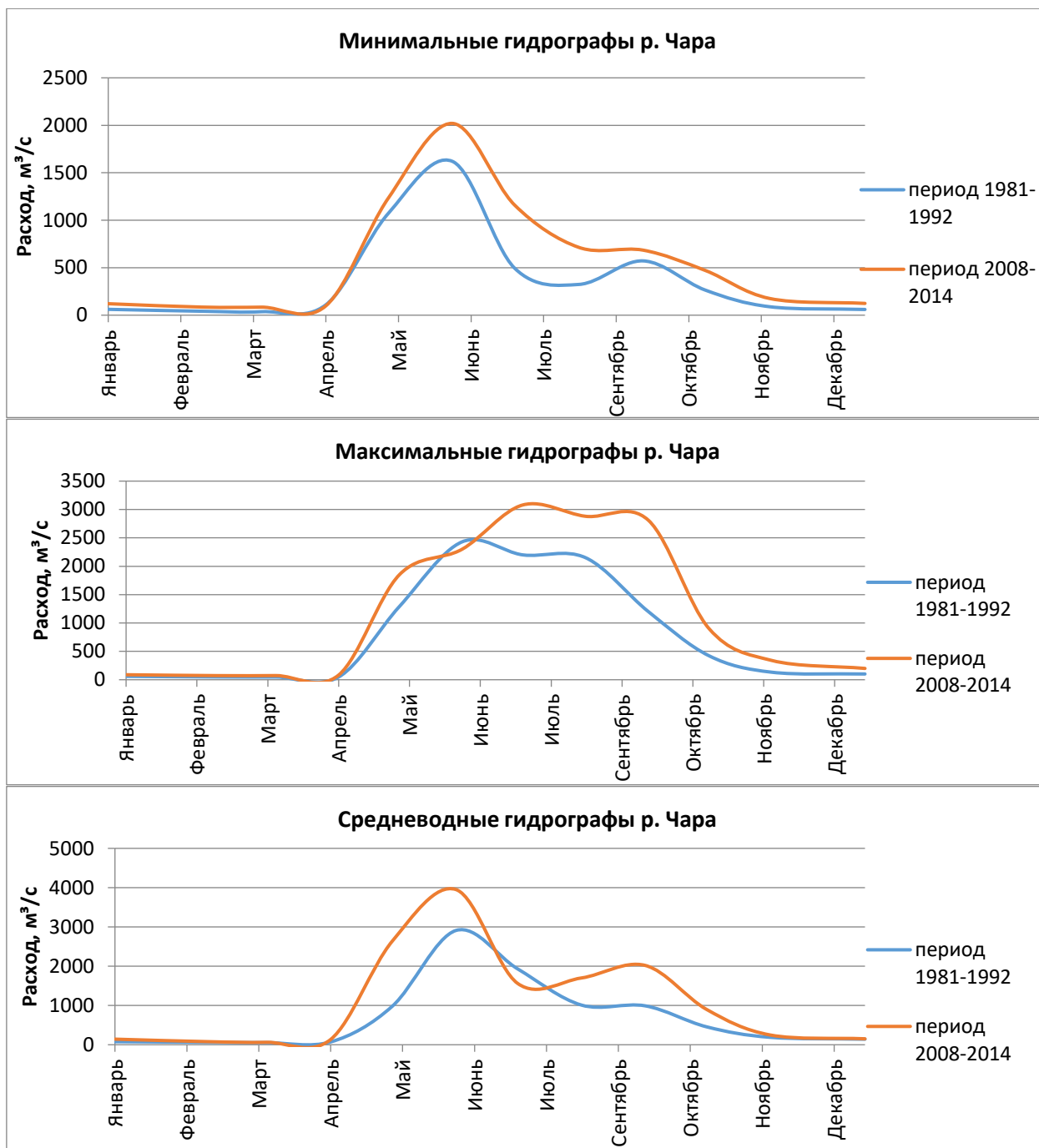


Рисунок 21 Гидрографы стока в мало-, средне- и многоводные года для р.Чара

Сравнение внутригодового распределения стока для двух периодов (фоновый и современный) представлено в таблице 9 и на рисунке 21. Из диаграмм видно, что на 5% происходит увеличение стока воды в июне, а на 1% - его уменьшение в мае и июле. Однако отмечается уменьшение зимнего стока лимитирующего периода с 9% до 5%, что может привести в последующем к проблемам с водой при ее водозаборе.

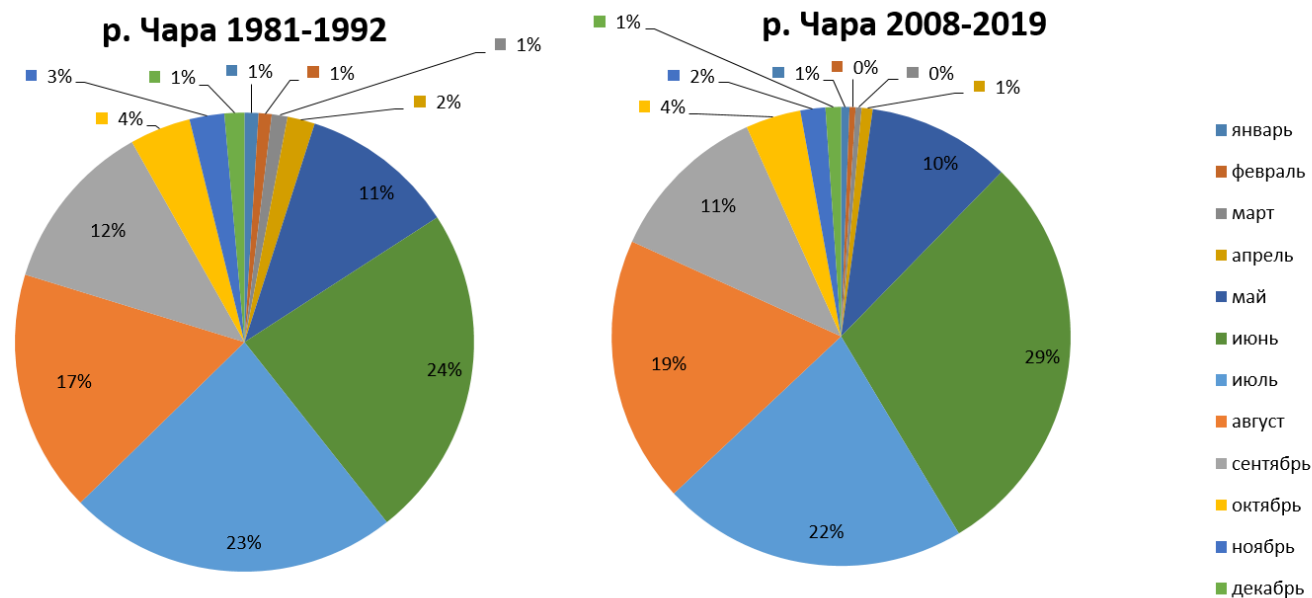


Таблица 9 Средние многолетние месячные значения расходов воды (м<sup>3</sup>/с) р.Чары для периодов 1981-1992 и 2008-2021 гг.

Период	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Ср. годовой расход воды, (м <sup>3</sup> /с)
1983-1990	6,07	5,65	6,85	11,92	67,16	144,7	143,6	105,1	74,44	26,48	15,09	8,64	615,7
2008-2014	3,71	2,68	2,65	4,90	63,68	183,6	136,0	118,43	72,40	24,53	11,10	6,87	630,55

Рисунок 22 Средние многолетние месячные значения расходов воды р.Чары для периодов 1981-1992 и 2008-2021 гг.



Для определения внутригодовых изменений стока воды построены диаграммы для мало-, средне- и многоводных лет двух периодов. Года и значения расходов воды для р.Чары представлены в таблице 10.

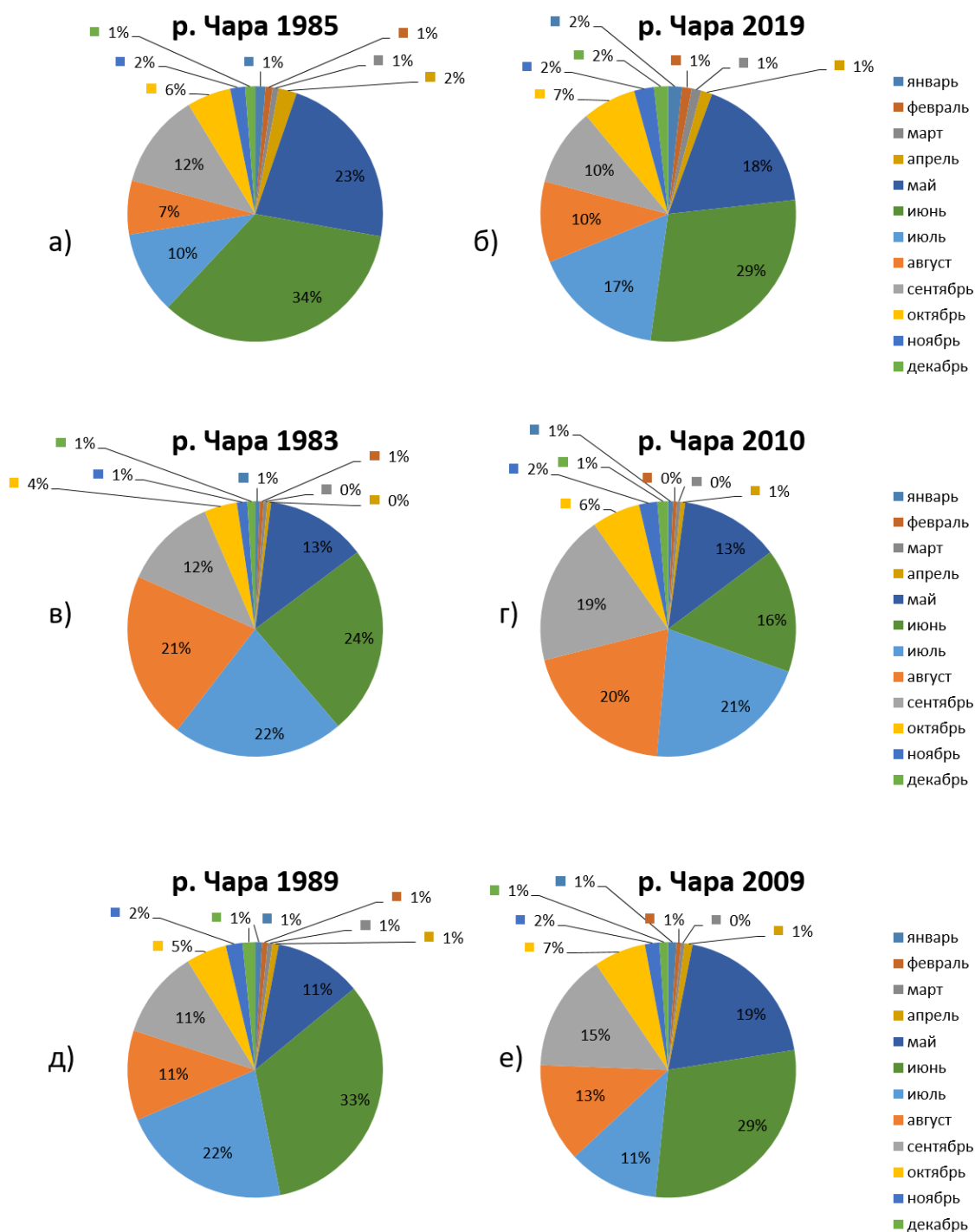


Рисунок 23 Диаграммы внутригодового распределения стока воды р.Чары для двух периодов маловодных лет (а, б)), многоводных лет (в и г)), средневодных лет (д и е))

На диаграммах (рис. 23) отмечается уменьшение стока половодья в мае, июне для всех лет. Для июля увеличивается сток в маловодные года (2019 г.), но уменьшается в средне- и многоводные года (2009 и 2010 гг. соответственно). Можно заметить увеличение стока летней межени (август-сентябрь, октябрь). Зимний сток реки во внутригодовом распределении почти не изменился в современный период по сравнению с фоновым.

В таблице 10 представлены года и значения расходов воды для р.Чара для мало-, средне- и многоводных лет двух периодов

Таблица 10 Значения расходов воды в мало-, средне- и многоводные года двух периодов р.Чары

Период	период 1981-1992 фоновый		период 2008-2021 современный	
	год	Среднегодовой расход воды, м3/с	год	Среднегодовой расход воды, м3/с
маловодный год периода	1985	395	2019	124
многоводный год периода	1983	844	2010	199
средневодный год периода	1989	739	2009	151

#### 4.9 Тренды многолетних изменений стока рек

Для анализа изменений минимального стока рек были построены тренды для лимитирующего периода многолетнего распределения стока воды р.Жуя, р.Б.Патом и р.Чара (рис. 24-26). Лимитирующий — это критический период, в котором естественный сток лимитирует водопотребление, то есть создаются наиболее неблагоприятные условия для водохозяйственных нужд (СП 33-101-2003). Внутри лимитирующего периода выделяют лимитирующий сезон. Минимальный суточный расход воды обычно совпадает с 30–суточным (среднемесячным) периодом минимального стока. Для анализа использовалась линейная зависимость, на рисунках представлены тренды и их уравнения для января-апреля.

Для р.Жуя (пр-к Светлый) (рис. 24) за период 1981 – 2014 гг. можно отметить увеличение стока в апреле и его уменьшение в январе-марте.

## река Жуя

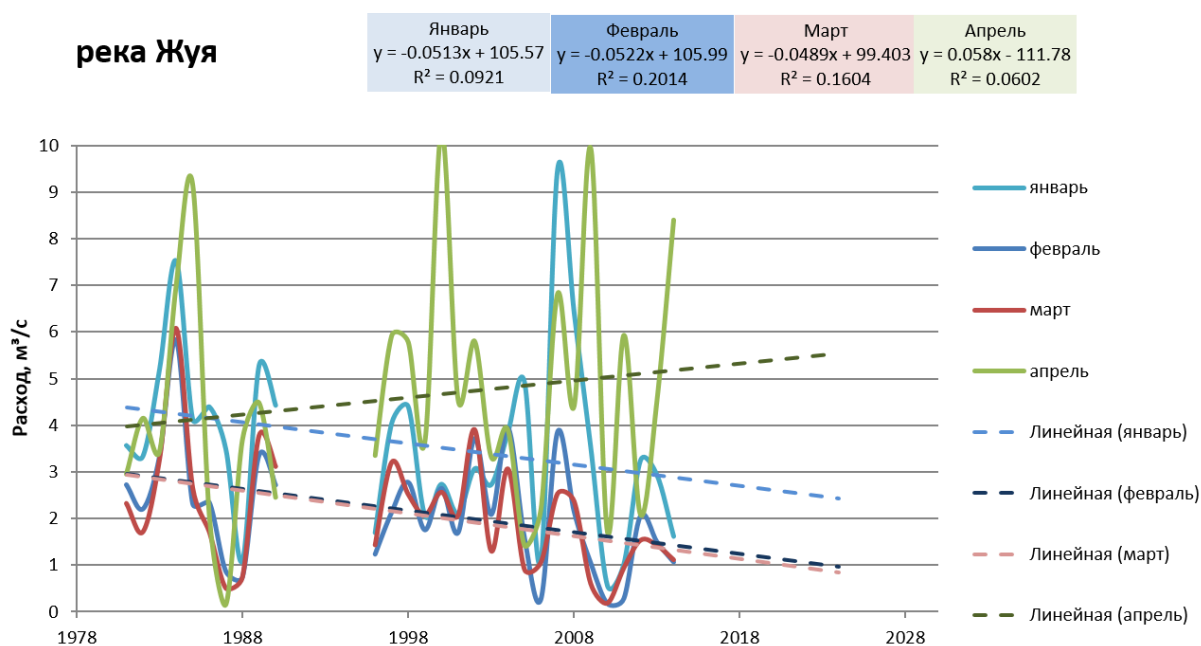


Рисунок 24 Тренд среднегоголетнего стока воды за лимитирующий период (январь-апрель) р.Жуя за период 1981-2021 гг.

Для р.Большой Патом (с.Патома) (рис. 25) за период 1981 – 2021 гг. можно отметить незначительные изменения стока в лимитирующий период за весь период наблюдений с 1981 по 2021 г. Только в январе отмечается небольшое его уменьшение. Для остальных месяцев (февраль-апрель) тренд незначительный.

## река Большой Патом

Январь	Февраль	Март	Апрель
$y = -0.6533x + 1383.9$	$y = -0.0455x + 154.84$	$y = -0.1605x + 379.8$	$y = 0.08x - 82.558$
$R^2 = 0.1273$	$R^2 = 0.0012$	$R^2 = 0.0199$	$R^2 = 0.0033$

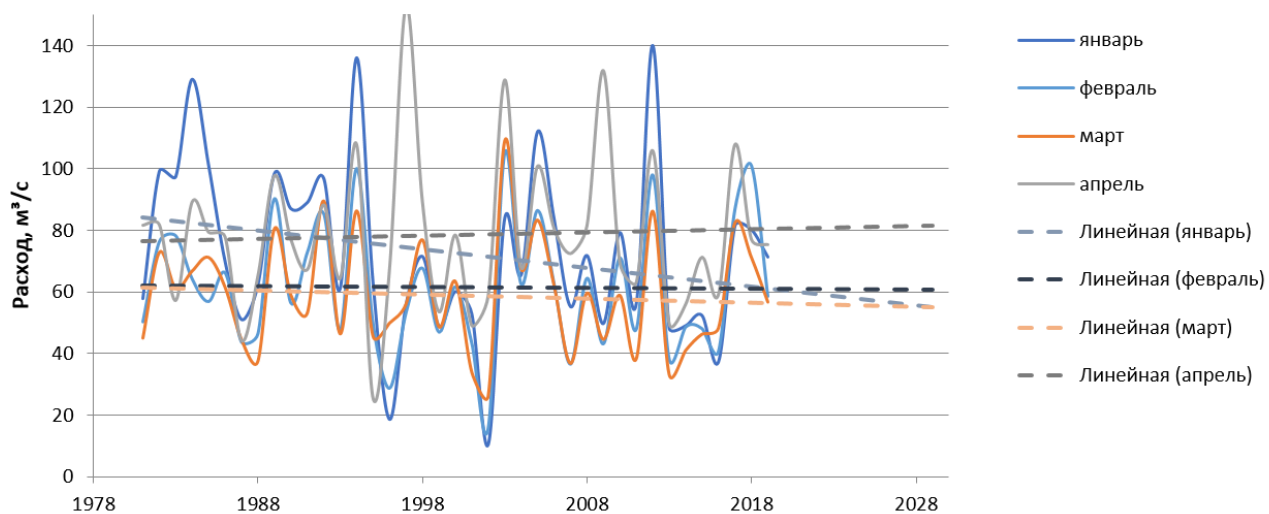


Рисунок 25 Тренд среднегодового стока воды за лимитирующий период (январь-апрель) р.Большой Патом за период 1981-2021 гг.

Для р.Чара (с.Токко) (рис. 26) отмечается незначительное, однако увеличение стока воды в лимитирующий период для всех месяцев с января по апрель.

## река Чара

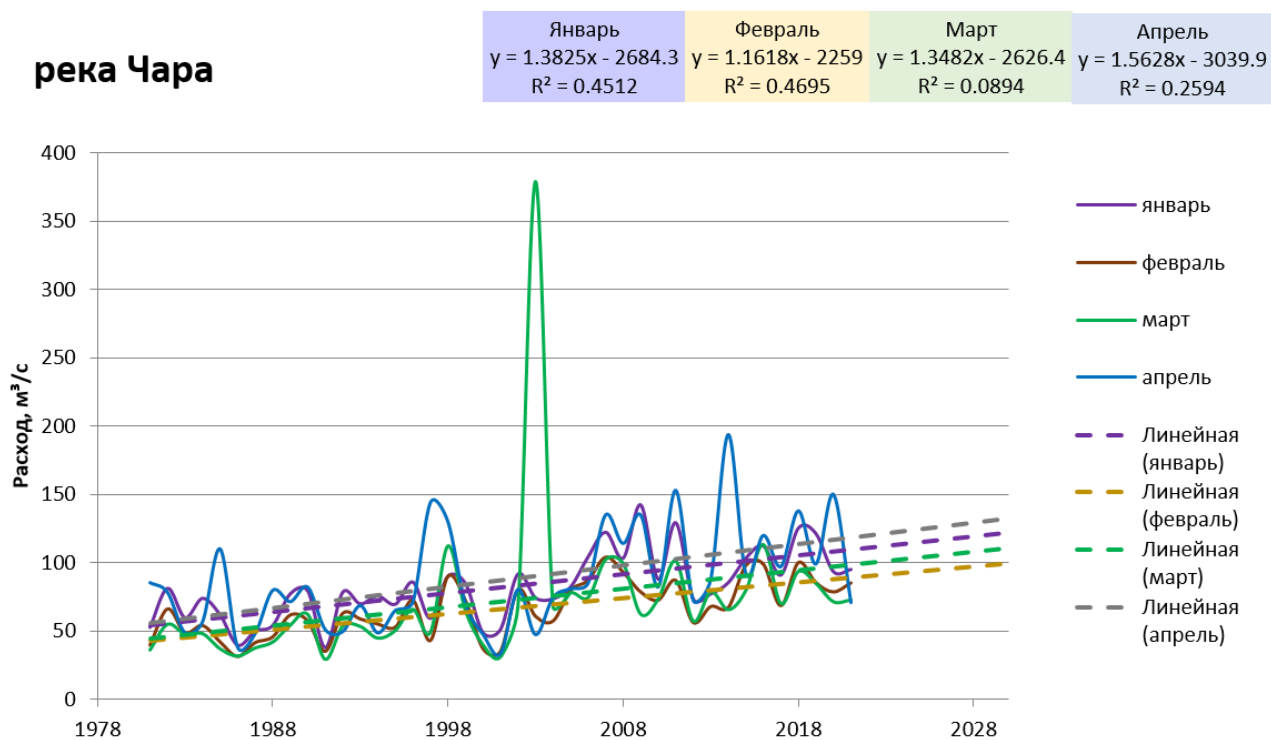


Рисунок 26 Тренд среднегодового стока воды за лимитирующий период (январь-апрель) р.Чары за период 1981-2021 гг.

Таким образом, для р.Жуя (пр-к Светлый) за период 1981 – 2014 гг. можно отметить увеличение стока в апреле и его уменьшение в лимитирующий период (январь-март).

Для р.Большой Патом (с.Патома) за период 1981 – 2021 гг. можно отметить незначительные изменения стока в лимитирующий период за весь период наблюдений с 1981 по 2021 г. Только в январе отмечается небольшое его уменьшение. Для остальных месяцев (февраль-апрель) тренд незначительный.

## Глава 5. Климатические сценарии

### 5.1 Современное состояние изученности влияния изменений климата на гидрологический режим рек

Реки, являясь «продуктом климата», отражают глобальные климатические изменения, однако механизм формирования стока достаточно сложен, и в какой мере климатическая составляющая изменчивости стока преобладает, сказать трудно.

Александр Иванович Воейков был одним из первых отечественных ученых, который обращал внимание на изменение климата. В своих трудах «Климаты земного шара, в особенности России» (1884) он впервые затронул эту проблему. В 1960-1980 годах на территории СССР исследователи, такие как П.П. Кузьмин (1961), И.П. Дружинин (1966), А.Н. Афанасьев (1967), Б.И. Куделин (1966), М.С. Протасьев (1972), И.И. Поляк (1975), С.И. Харченко (1975), Л.И. Зубенок (1976), Л.С. Кучмент (1980), работали над проблемами влияния климата на изменения подземного и поверхностного стока. На международной конференции по климатологии в 1971 году в Ленинграде М.И. Будыко выразил убеждение, что в ближайшем будущем начнется глобальное потепление, которое в следующем веке достигнет нескольких градусов. Он изложил свою точку зрения в работе «Климат в прошлом и будущем» (1980) и проанализировал данную проблему в книге «Глобальные климатические катастрофы» (1986).

Ю.А. Израэль, и др. (2007) рассматривали изменения глобального климата, их причины и последствия, а также адаптацию водного хозяйства Российской Федерации к этим изменениям. В трудах зарубежных авторов тема изменения климата и гидрологического режима затрагивали J. Dolph, D. Marks (1992), D.M. Wolock, G.J. McCable (1999), M.L. Branstetter, J.S. Famiglietti (1999), N.Nakicenovich (2000), M.R. Allen, W.J. Ingram (2002).

Р.Г. Джамалов и соавторы (2012) изучили влияние климата на формирование и изменение годовых и межгодовых режимов стока рек в Восточной Сибири. Исследование показало, что заметное потепление климата за последние десятилетия привело к росту температуры воздуха, увеличению атмосферных осадков и существенным изменениям в годовых и сезонных величинах речного и подземного стока. Авторы провели анализ среднегодового и среднемежгодового стока на протяжении всего периода наблюдений, а также в разбивке на периоды 1940-1969 и 1970-2005 гг. Были построены графики, диаграммы и таблицы по наиболее представительным створам, проведено районирование территории по условиям формирования стока и переоценка общих водных и естественных ресурсов подземных вод за 1970-2005 гг. Статистический анализ рядов температуры воздуха и осадков

за холодный период года показал наличие статистически достоверных возрастающих трендов в большинстве случаев. Средние температуры воздуха и осадков за теплый период также имеют тенденцию к увеличению. Изменение климата Восточной Сибири приводит к сокращению мощности ледового покрова на малых и средних реках, большей глубине протаивания многолетнемерзлых пород и болотных массивов, а также росту эмиссии парниковых газов, что может привести к локальному повышению приповерхностной температуры. Вместе с современным соотношением основных стокообразующих климатических факторов (температура, осадки, испарение), указанные изменения обуславливают увеличение или уменьшение общих водных и естественных ресурсов подземных вод. Основной особенностью современных изменений речного стока является увеличение межгодового стока.

В 2012 году В. Ю. Георгиевский и А. Л. Шалыгин определили, что суммарный объем водных ресурсов реки Волга за период 1978-2007 гг. увеличился в среднем на 41 км<sup>3</sup> в год или на 17% по сравнению с периодом 1946-1977 гг. На большей части бассейна реки Волга произошло значительное увеличение зимнего стока. Также существенно увеличился летне-осенний сток на реках южной и юго-восточной части бассейна. Авторы указывают на необходимость рассмотрения нескольких сценариев климата будущего для принятия взвешенных решений в области управления водными ресурсами.

Результаты исследования Д.Ю. Васильева и его коллег (2013) показывают результаты корреляционного анализа атмосферных осадков и весеннего стока рек бассейна р. Белая в период с 1936 по 2000 гг. Авторы выделяют пять районов, в каждом из которых они определяют главные факторы, влияющие на формирование стока, и проводят оценку связи между характеристиками стока и суммой атмосферных осадков. Это может быть использовано для прогнозирования стока в разных регионах Башкирии. Авторы делают следующие выводы. Наибольшие коэффициенты корреляции были получены для постов, расположенных на правом берегу реки Белая, где территория имеет высокую влажность и небольшое антропогенное воздействие. Учет осадков в мае приводит к существенному увеличению коэффициентов корреляции при анализе среднего стока во время весеннего половодья для правобережных притоков р. Белая и рек, находящихся в ее верховьях. Однако учет осадков в мае не имеет столь значительного значения для рек, находящихся в районах, где наступление весны происходит раньше (левобережные притоки р. Белая). Коэффициенты корреляции сумм осадков и максимальных расходов воды значительно увеличиваются при учете осадков в мае.

Повышение температуры воздуха наблюдается в среднем на всей территории СФО. В период с 1960 по 2020 гг. средняя годовая температура воздуха в Хатанге возросла примерно

на 3 °С, в Иркутске на 2,5 °С, в Новосибирске на 2 °С. Рост температуры отмечался как в теплый, так и в холодный периоды года. Осадки возрастали в основном в холодный период. Однако из-за их малого количества это существенно не отразилось на изменении годовых сумм (согласно Третьему оценочному докладу об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации). Изменение климата в этом регионе выражается в росте температуры воздуха практически на всей территории округа в увеличении мощности сезонноталого слоя многолетней мерзлоты, в более частых и интенсивных экстремальных погодных явлениях. Все эти проявления изменения климатических условий оказывают существенное влияние на промышленные объекты и технологические процессы добывающей промышленности.

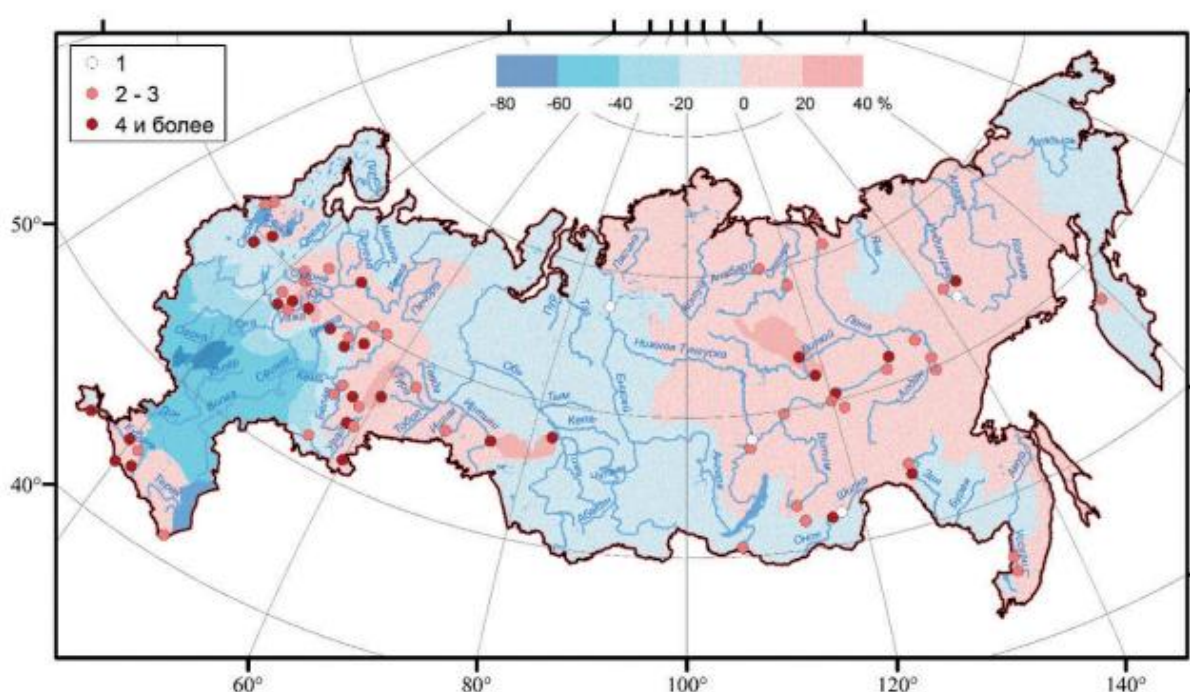


Рисунок 27 Изменение (%) максимального стока рек России в современный период по отношению к предшествующему. Кружки – число случаев (число лет) с превышением максимального расхода воды 10%-й обеспеченности в современный период (1981-2016 гг.) по отношению к предшествующему (1950-1980 гг.) (Георгиевский и др., 2019)

В современный период, в результате происходящих климатических изменений, и прежде всего повышения зимней температуры воздуха, произошло значительное сокращение числа лет, когда формируется водонепроницаемый слой почвы на водосборах. В этих климатических условиях в период весеннего половодья снижается поверхностный сток и возрастает инфильтрационное питание грунтовых вод, что определяет увеличение их запасов и, как следствие, увеличение подземного питания водотоков в меженный период. При



этом реакция водного режима рек на климатические изменения в значительной мере зависит от гидрогеологических особенностей водосборов, определяющих инерционность процессов пополнения и разгрузки их подземных емкостей.

## **5.2 Климатические сценарии**

Сценарные прогнозы изменения климата на основе глобальных моделей СМIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) представлены на сайте МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменению климата). СМIP6 — это программный проект, в рамках которого проводится сравнение и анализ различных климатических моделей для прогнозирования будущих изменений климата.

На сайте МГЭИК представлены результаты работы множества глобальных климатических моделей, разработанных разными научными центрами по всему миру. Эти модели учитывают различные физические процессы, влияющие на климат, такие как атмосферная циркуляция, океанские течения, облачность, взаимодействие с льдами и т.д. Модели используются для симуляции прошлого и будущего климата на основе различных сценариев изменения концентрации парниковых газов в атмосфере.

Сценарии изменения климата, представленные на сайте МГЭИК, обычно охватывают разные временные горизонты (например, до конца века) и различные сценарии концентрации парниковых газов, основанные на разных предположениях относительно экономического развития, энергетических систем, использования природных ресурсов и других факторов. Это позволяет оценить возможные будущие изменения климата в разных условиях и сценариях.

Сценарные прогнозы изменения климата на основе глобальных моделей СМIP6 представлены в виде данных о различных климатических переменных, таких как температура, осадки, атмосферное давление и другие. Они могут быть использованы для проведения анализа и исследований в области климатологии, гидрологии, экологии и других научных дисциплин, а также для подготовки стратегий приспособления к изменению климата и принятия соответствующих мер по смягчению его последствий.

Однако следует отметить, что сценарные прогнозы основаны на модельных расчетах и представляют результаты математического моделирования, которые несут определенную степень неопределенности и не гарантируют точного предсказания будущих изменений климата. Важно понимать, что климат - сложная система, зависящая от множества взаимосвязанных факторов, и модели не могут учесть все возможные варианты развития.

Тем не менее, сценарные прогнозы на основе глобальных моделей СМIP6 являются ценным инструментом для оценки возможных будущих тенденций изменения климата. Они позволяют выявить общие закономерности и тренды, а также оценить вероятность различных сценариев.

Использование этих прогнозов в практических задачах позволяет принимать более информированные решения в области адаптации к изменению климата. Например, на основе сценарных прогнозов можно разрабатывать планы управления водными ресурсами, строительства и развития инфраструктуры, предупреждения стихийных бедствий и других мероприятий.

### 5.3 Подбор теоретических кривых обеспеченности

По рассчитанным максимальным и минимальным расходам воды рек разной процентной обеспеченности были построены теоретические кривые обеспеченности. Для начала строились эмпирические кривые. При расчетах обеспеченности значения гидрологической величины рассматриваются в виде статистического ряда, т.е. ряда, расположенного в убывающем порядке.

Порядок расчета эмпирической обеспеченности (вероятности превышения):

- исходный ряд наблюдаемых значений с числом членов  $n$  располагают в порядке убывания;
- каждому члену в убывающем ряду присваивают порядковый номер  $m$ ;
- рассчитывают обеспеченность каждого члена по формуле:

$$P_i = m / (n + 1) \times 100\%.$$

где  $m$  - порядковый номер члена ранжированного ряда (Шелутко В. А., 2007).

Затем были подобраны теоретические законы распределения, которые наиболее точно описывают эмпирические кривые обеспеченности для каждой реки. Для построения теоретических кривых обеспеченности, которые соответствовали бы эмпирическим кривым, необходимо по данным наблюдений вычислить значения параметров их дифференциального уравнения и произвести его интегрирование.

Практически же достаточно определить три основных параметра теоретической кривой распределения, которые определяют вид теоретической кривой для имеющегося ряда наблюдений:

- 1) среднюю многолетнюю величину расхода;
- 2) коэффициент изменчивости (вариации)  $C_v$ ;
- 3) коэффициент асимметрии (несимметричности ряда расходов)  $C_s$ .

Далее определяются значения ординат нормального закона распределения и биномиальной кривой обеспеченности III типа в нормированных значениях  $t_p$ , модульных коэффициентах  $k_p$  и значениях расхода воды  $x_p$  по следующим формулам:

$$t_p = (x_p - m_x) / \sigma_x = (k_p - 1) / C_v; \quad k_p = t_p C_v + 1; \quad x_p = m_x k_p$$

Подбираются отношения  $C_s$  к  $C_v$ , при которых наблюдается наилучшее совпадение точек эмпирических и теоретических кривых обеспеченности Пирсона III типа. Исходя из этого условия подбирается теоретический закон распределения.

Графики эмпирических кривых обеспеченности с подобранными теоретическими законами на примере реки Большой Патом представлены на рисунках ниже (28-31).

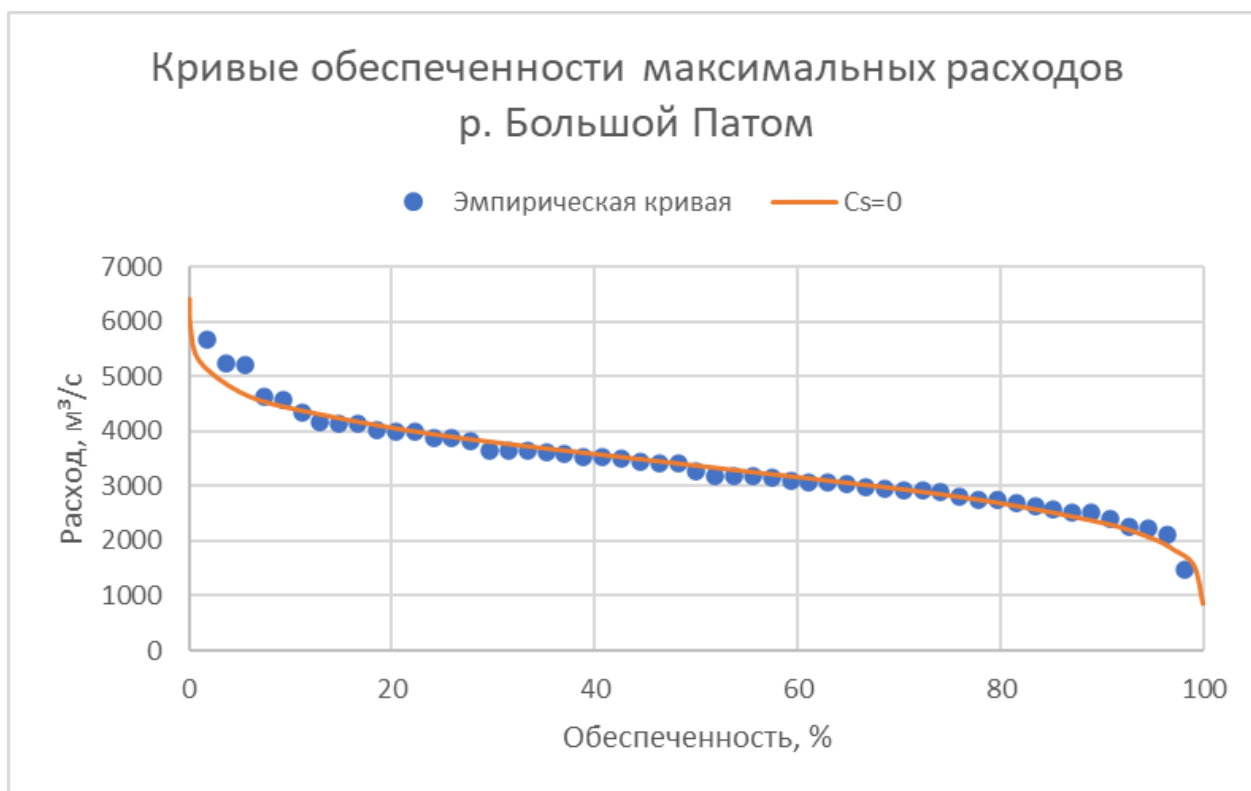


Рисунок 28 График эмпирической кривой обеспеченности с законом Нормального распределения для р. Большой Патом - с. Патома

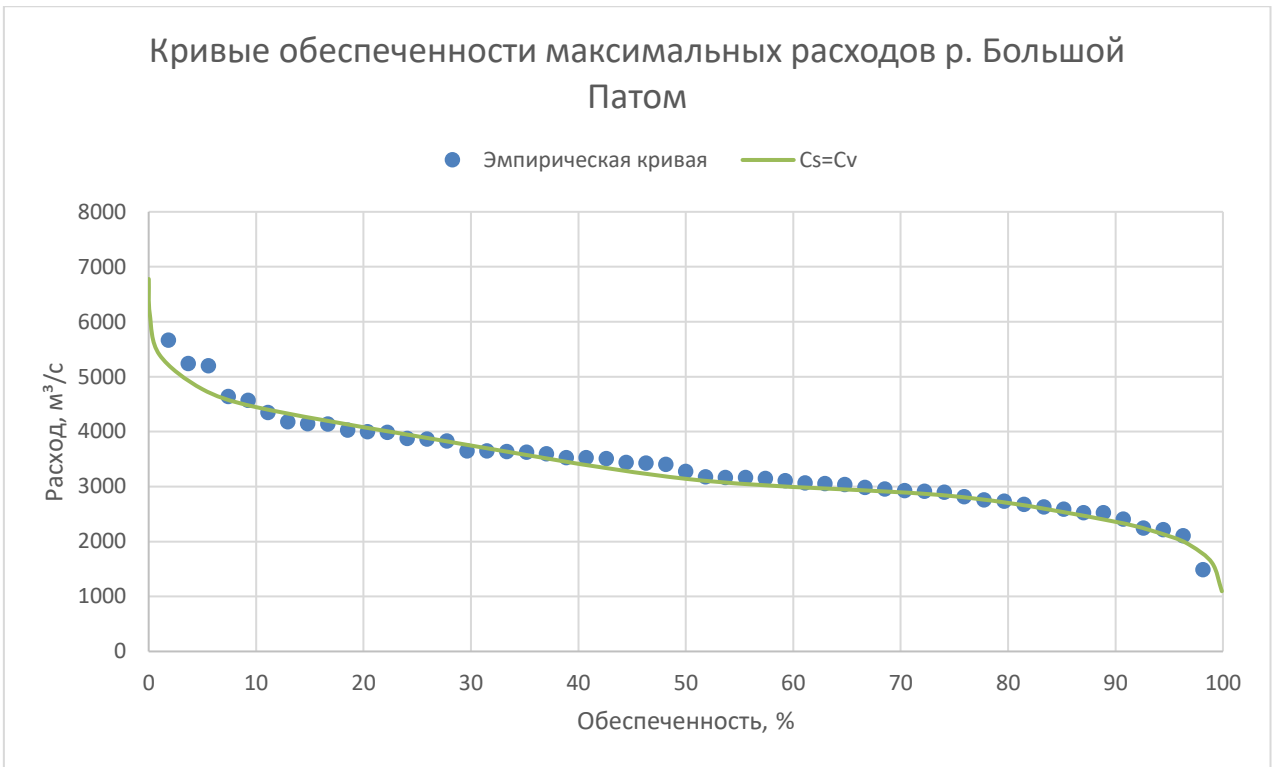


Рисунок 29 График эмпирической кривой обеспеченности с законом распределения Пирсона III типа с отношением  $C_s/C_v=1$  для р. Большой Патом - с. Патома

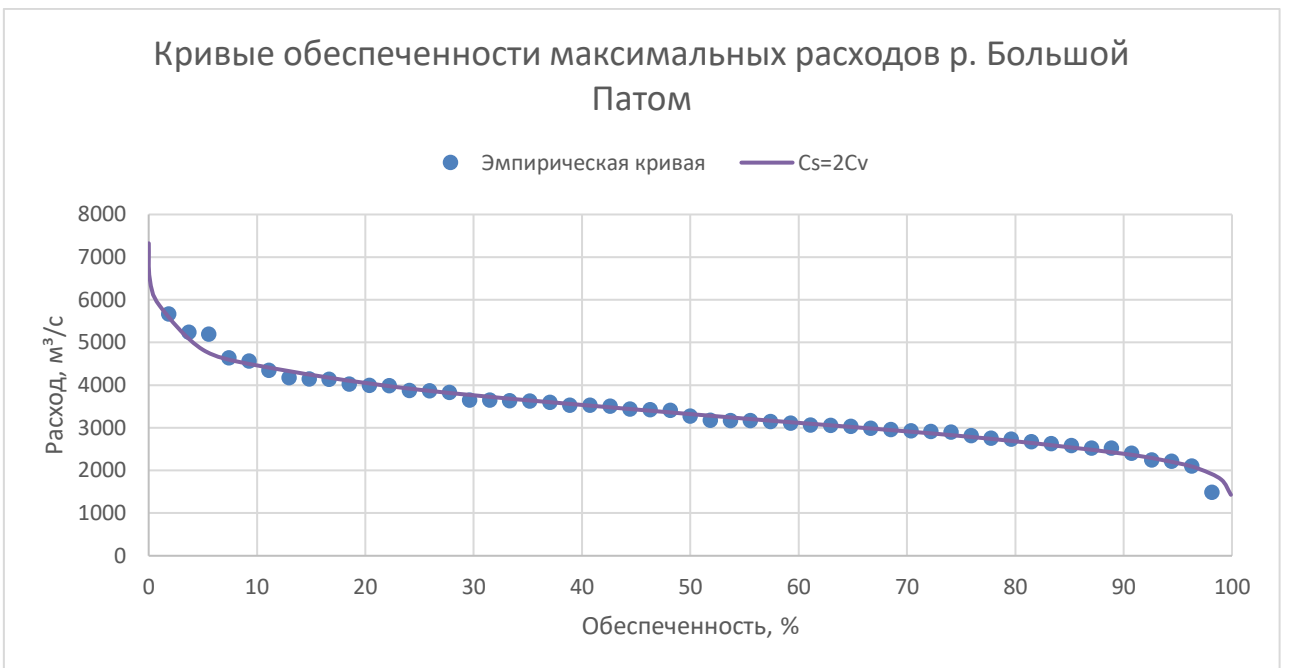


Рисунок 30 График эмпирической кривой обеспеченности с законом распределения Пирсона III типа с отношением  $C_s/C_v=2$  для р. Большой Патом - с. Патома

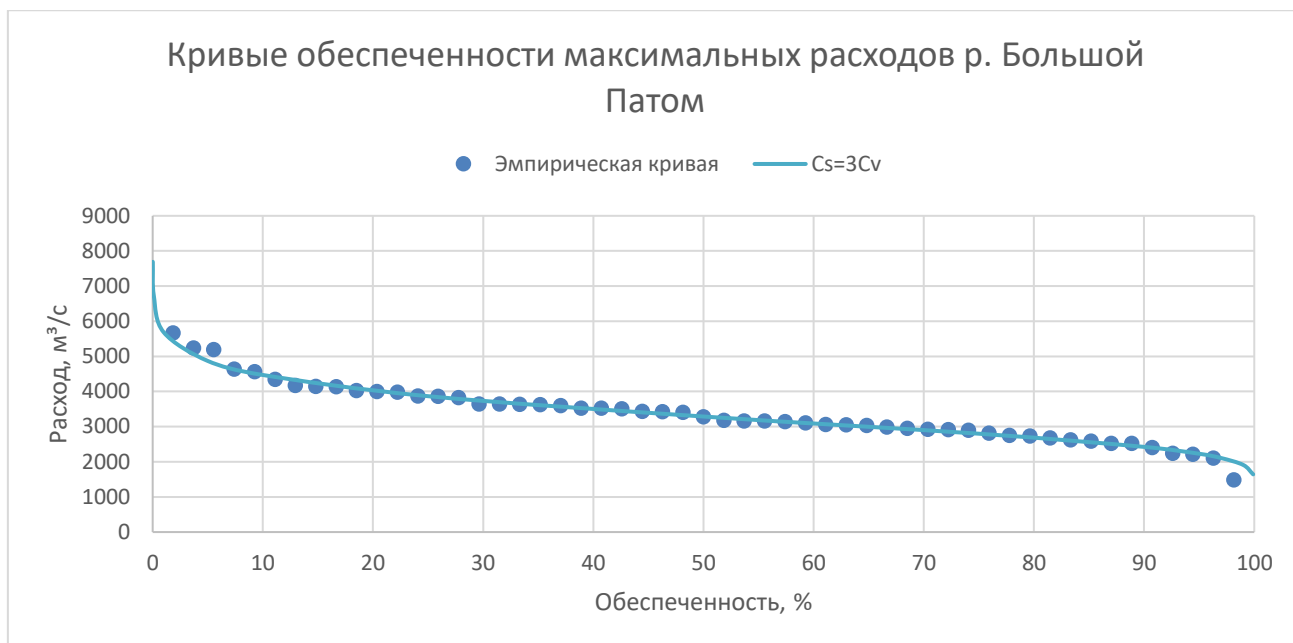


Рисунок 31 График эмпирической кривой обеспеченности с законом распределения Пирсона III типа с отношением  $C_s/C_v=2$  для р. Большой Патом - с. Патома

В данном случае для реки Большой Патом оптимальным для ряда максимальных уровней воды является отношение  $C_s/C_v=3$  (рис. 31).

Видно, что наиболее близкие значения получены с помощью закона распределения Пирсона III типа (соотношение  $C_s/C_v=3$ ). Наибольшие совпадения теоретических кривых и эмпирической кривой наблюдаются в ее центральной части при обеспеченности от 10% до 90%. Следовательно, для расчёта значений максимальных годовых расходов воды различной обеспеченности по реке Большой Патом – с. Патома рекомендуется использовать данный закон распределения.

Для всех рек были построены графики кривых обеспеченностей разных законов распределения (Приложение 1) и выбран наиболее подходящий закон (Табл. 11).

Таблица 11 Законы распределения кривых обеспеченностей

Название водного объекта	Максимальные расходы	Минимальные расходы
р. Мама-р.п. Луговский	$C_s/C_v=3$	$C_s/C_v=2$
р. Витим-г. Бодайбо	$C_s=C_v$	$C_s/C_v=2$
р. Чуя-с. Чуя	$C_s/C_v=3$	$C_s=C_v$
р. Чара-с. Токко	$C_s/C_v=3$	$C_s/C_v=2$
р. Большой Патом-с. Патома	$C_s/C_v=3$	$C_s=C_v$
р. Жуя-п. Светлый	$C_s/C_v=3$	$C_s/C_v=2$

Согласно законам распределения из таблицы 11 были получены значения максимальных и минимальных расходов для рек различной обеспеченности (табл. 12-13).

Таблица 12 Значения максимальных расходов различной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

	0.01%	0.10%	1%	5%
р. Мама-р.п. Луговский	6292	5588	4869	4267
р. Витим-г. Бодайбо	23284	20420	17495	15048
р. Чуя-с. Чуя	1928	1712	1491	1306
р. Чара-с. Токко	12993	11719	10231	8921
р. Большой Патом-с. Патома	7690	6728	5685	4870
р. Жуя-п. Светлый	2144	1808	1443	1158

Таблица 13 Значения минимальных расходов различной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

	95	97	99	99.9
р. Мама-р.п. Луговский	160.0	144.8	117.7	71.5
р. Витим-г. Бодайбо	441.4	369.9	237.2	22.8
р. Чуя-с. Чуя	124.2	118.3	107.3	89.6
р. Чара-с. Токко	191.5	149.7	72.2	53.0
р. Большой Патом-с. Патома	178.3	165.1	140.7	101.3
р. Жуя-п. Светлый	188.6	128.7	77.3	51.3

#### 5.4 Прогноз изменений максимального и минимального стока в связи с климатическими сценариями

Расчеты по моделям производились для двух сценариев эмиссии парниковых газов, предложенных IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, Y, Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp.): сценария RCP2.6, по которому предполагается невысокий рост концентрации CO<sub>2</sub> и сценария RCP8.5, предполагающего существенно больший рост (Рис.33).

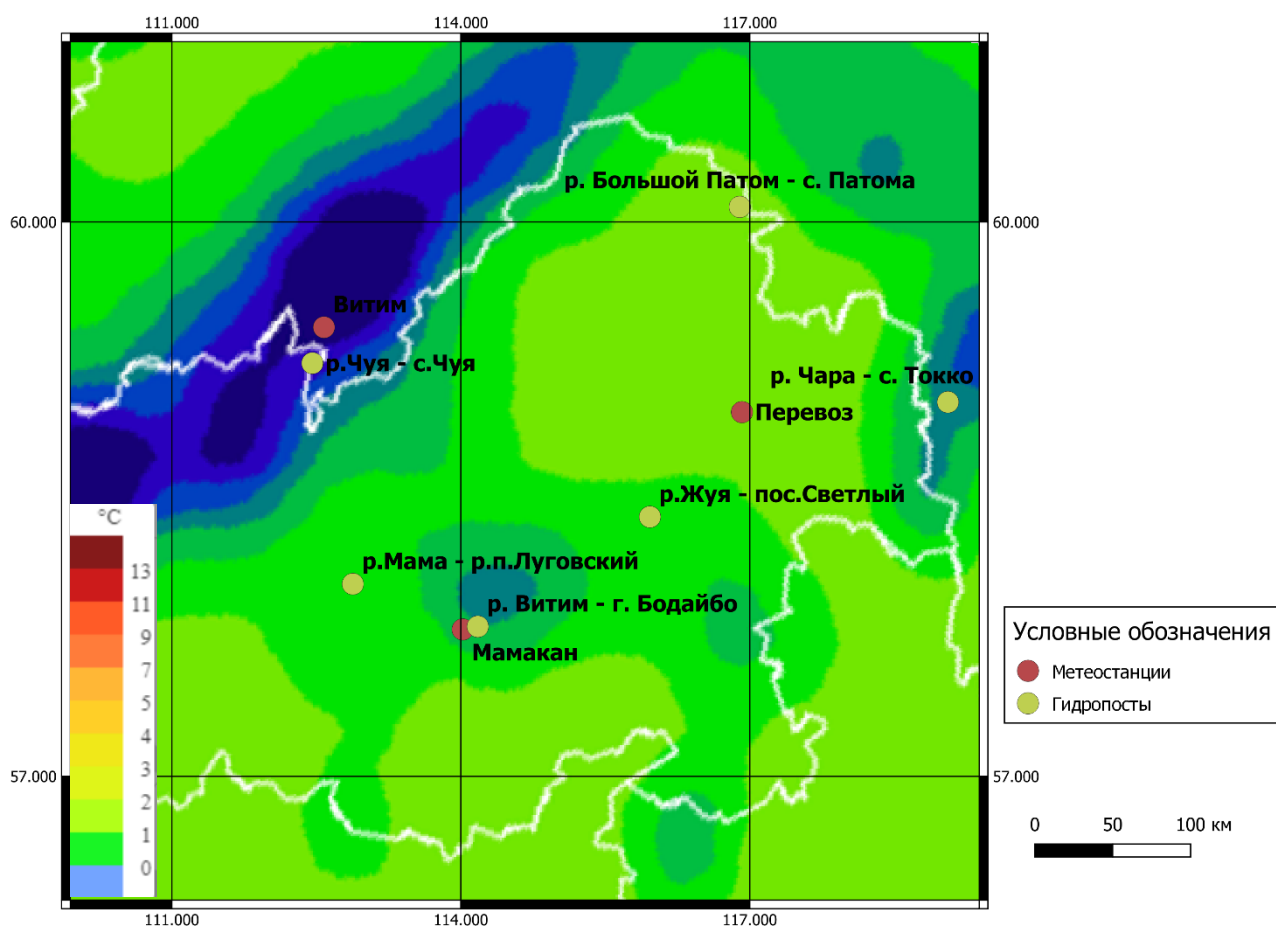


Рисунок 32 Прогноз количества осадков по сценарию RCP8.5 на период 2050-2059 гг. для Бодайбинского района (Климатический центр Росгидромета)

Расчеты по сценарию RCP8.5, предполагающему повышенную эмиссию парниковых газов на будущий период, показали увеличение температуры воздуха до 3°C в период с 2070 по 2099 годы. Такое увеличение среднегодовой температуры должно привести к деградации островной многолетней мерзлоты. Изменению в количестве осадков до 550мм сопутствует рост испаряемости. Тем не менее, увеличение речного стока, которое также предсказывается

в среднем по ансамблю, не может считаться устойчивой оценкой ввиду большого разброса значений по отдельным моделям внутри ансамбля.

Для моделирования расходов рек были взяты коэффициенты изменения стока при разных климатических сценариях из статьи Törnqvist, Rebecka et al. 2014. Анализ основан на долгосрочном мониторинге рек и исторических данных гидроклиматических наблюдений, а также на совокупных средних значениях и результатах 22 отдельных моделей проекта взаимного сравнения связанных моделей CMIP5 (Приложение 5).

Таблица 14 Значения максимальных расходов различной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

	Настоящее время		RCP8.5		RCP2.6	
	0.10%	1%	0.10%	1%	0.10%	1%
р. Мама-р.п. Луговский	5588	4869	6817	5940	6035	5259
р. Витим-г. Бодайбо	20420	17495	24912	21344	22054	18895
р. Чуя-с. Чуя	1712	1491	2089	1819	1849	1610
р. Чара-с. Токко	11719	10231	14297	12482	12657	11049
р. Большой Патом-с. Патома	6728	5685	8208	6936	7266	6140
р. Жуя-п. Светлый	1808	1443	2206	1760	1953	1558

Таблица 15 Значения минимальных расходов различной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

	Настоящее время		RCP8.5		RCP2.6	
	99	99.9	99	99.9	99	99.9
р. Мама-р.п. Луговский	117.7	71.5	144	87	127	77
р. Витим-г. Бодайбо	237.2	22.8	289	28	256	25
р. Чуя-с. Чуя	107.3	89.6	131	109	116	97
р. Чара-с. Токко	72.2	53.0	88	65	78	57
р. Большой Патом-с. Патома	140.7	101.3	172	124	152	109
р. Жуя-п. Светлый	77.3	51.3	94	63	83	55



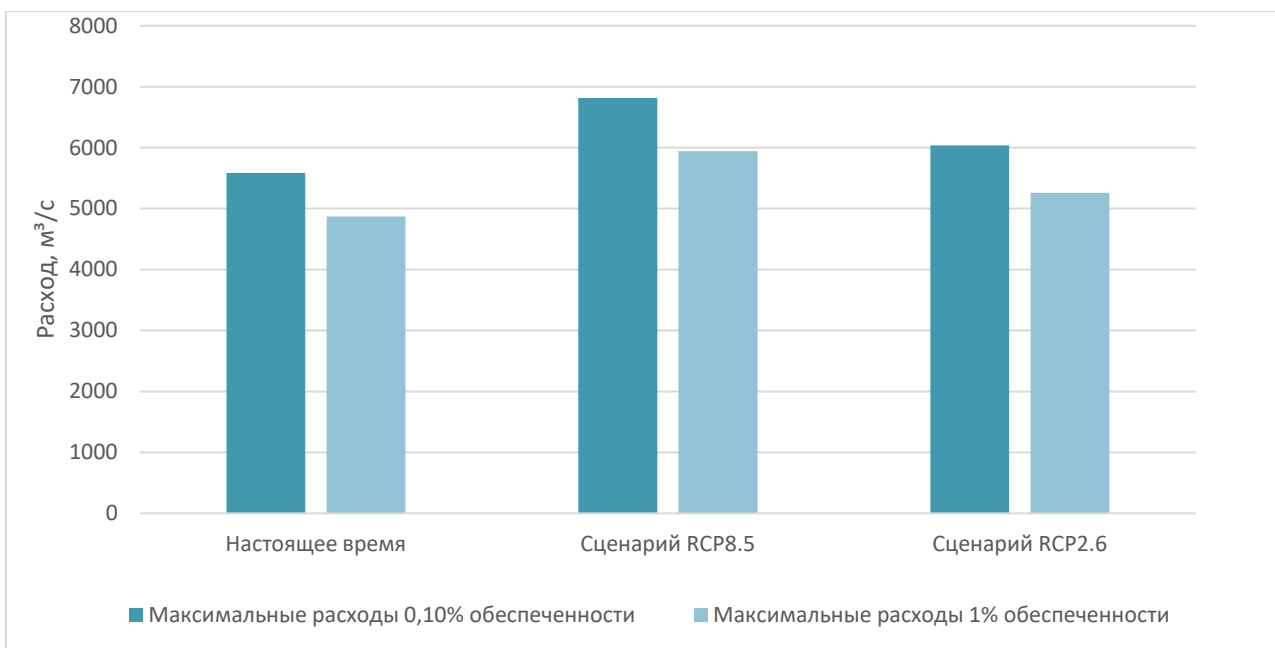


Рисунок 33 Значения максимальных расходов различной обеспеченности, м³/с р. Мама-р.п. Луговский

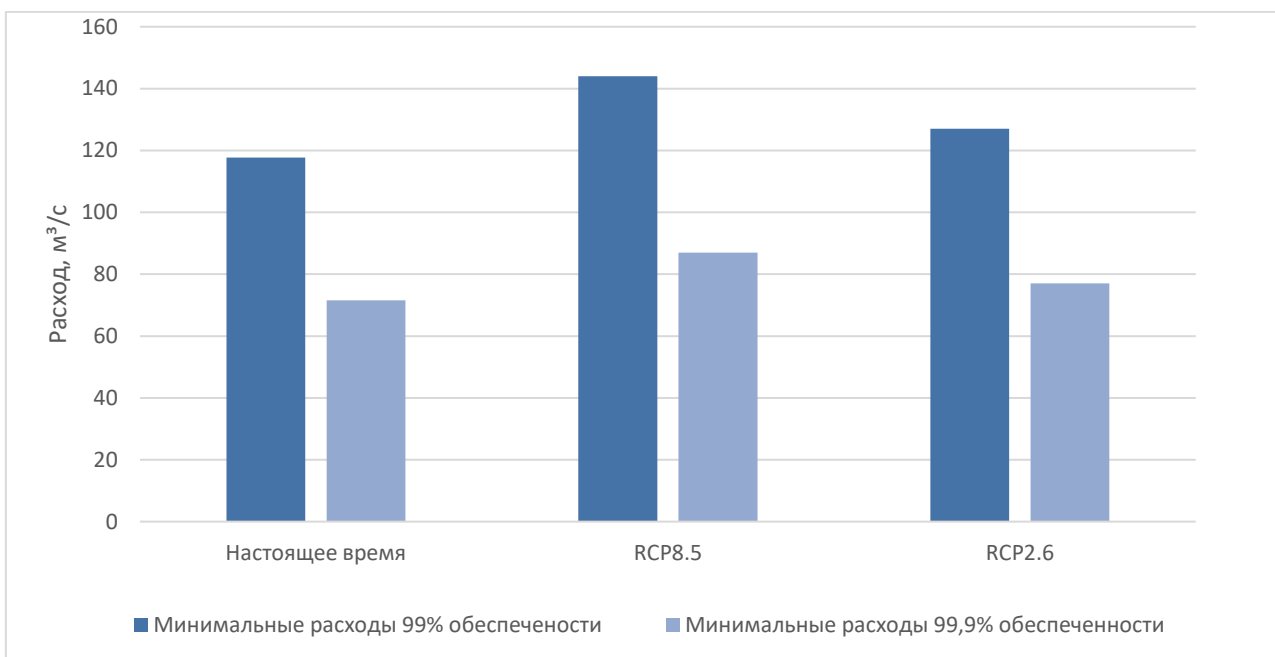


Рисунок 34 Значения минимальных расходов различной обеспеченности, м³/с р. Мама-р.п. Луговский

RCP 2.6 — это «очень строгий» путь. Увеличение температуры воздуха к 2065 году по этому сценарию относительно настоящего времени произойдет на 0,4-0,6 °С. Согласно IPCC, RCP 2.6 требует, чтобы выбросы диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) начали сокращаться к 2020 г. и упали до нуля к 2100 г. Также требуется, чтобы выбросы метана (CH<sub>4</sub>) уменьшились

примерно на половину. Уровень выбросов диоксида серы (SO<sub>2</sub>) снизится примерно до 10% от уровня 1980–1990 годов. Как и все другие RCP, RCP 2.6 требует отрицательного значения выбросов CO<sub>2</sub> (например, поглощение деревьями). При данном сценарии расходы воды как минимальные, так и максимальные почти не претерпевают изменений, увеличение стока прогнозируется на 8% от нынешних показателей. Так, например, для реки Мама максимальный 1%-ый расход с 5588 м<sup>3</sup>/с увеличится до 6035 м<sup>3</sup>/с, а минимальный 99%-ый расход с 117.7 м<sup>3</sup>/с до 127 м<sup>3</sup>/с.

RCP8.5, обычно принимаемый за основу для наихудших сценариев изменения климата. При RCP 8.5 средняя мировая температура повысится на 4,9 градуса Цельсия. Этот сценарий оказывает значительное влияние на сток рек, расходы рек увеличились на 22%. Так например, для реки Мама максимальный 1%-ый расход с 5588 м<sup>3</sup>/с увеличится до 6817 м<sup>3</sup>/с, а минимальный 99%-ый расход с 117.7 м<sup>3</sup>/с до 144 м<sup>3</sup>/с. Разница между двумя сценариями при максимальных расходах составляет 782 м<sup>3</sup>/с, а при минимальных 17 м<sup>3</sup>/с. Можно сделать вывод, что для максимальных расходов влияние изменения климата окажется более существенно.

## Заключение

Таким образом, в ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты и выводы:

1. Были проанализированы данные трех метеостанций: Перевоз, Витим и Мамакан. На основе этого построены и проанализированы графики межгодового и внутригодового хода температур, осадков, давления, а также построены графики межгодового хода метеоэлементов по сезонам. Были вычислены коэффициенты линейного тренда, произведена их оценка. Результаты показали увеличение температуры воздуха примерно на  $0,48^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Для осадков значимыми (по методу Поляка) оказались только тренды зимних осадков, которые показали увеличение на  $0,62$  мм/месяц/10 лет в среднем по району.
2. Были проанализированы данные 6 рек. На их основе построены графики внутригодового и межгодового хода расходов. Для рек Чара, Жуя и Большой Патом был произведен анализ фоновый (1981-1982гг.) и более современного периода (2008-2014 гг.), который показал, что более значимые изменения стока происходят в много - и средневодные годы современного периода по сравнению с фоновым, и в годы с максимальным стоком объем воды увеличивается на всех фазах водного периода. Во внутригодовом распределении стока можно отметить, что осенний паводочный период стал более растянут в современном периоде по сравнению с фоновым. Так, например, для реки Чары на 3% происходит уменьшение стока воды в половодье в июне и его увеличение на 2 % в сентябре и октябре в период осенних паводков.
3. Для оценки изменения минимального стока был произведен анализ лимитирующего периода рек. Для реки Чары можно отметить увеличение минимальных расходов, для остальных рек такого отметить нельзя.
4. По данным многолетних рядов наблюдений максимальных и минимальных расходов воды исследуемых рек были сделаны необходимые гидрологические расчеты максимальных и минимальных расходов воды разной процентной обеспеченности. На их основе были построены теоретические кривые обеспеченности и осуществлен подбор теоретических кривых распределения, которые более всего совпадают с точками эмпирических кривых. Так, для рек Мама, Чуя, Чара, Большой Патом и Жуя при построении кривой обеспеченности максимальных расходов больше всего подходит теоретический закон распределения Пирсона III типа при соотношении  $C_s=3C_v$ , для реки Витим – Пирсона III типа при соотношении  $C_s=C_v$ . При построении кривых обеспеченностей минимальных расходов воды, для рек Мама, Витим, Чара и

Жуя больше всего подходит теоретический закон распределения Пирсона III типа при соотношении  $C_s=2C_v$ , а для рек Чуя и Большой Патом – Пирсона III типа при соотношении  $C_s=C_v$ .

5. Также был сделан прогноз изменения стока в 2081–2100 гг. при двух различных сценариях: RCP 2.6 и RCP8.5, наиболее оптимистичном и негативном соответственно. При первом сценарии можно отметить увеличение стока не более чем на 8%. При сценарии RCP8.5 расходы рек увеличатся на 22%.

## Список использованных источников

1. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР / А.Н. Афанасьев. – М.: Изд-во НАУКА, 1967. 232 С.
2. Бояркин, В. М. География Иркутской области / В. М. Бояркин — 7-е изд. — Иркутск: Сарма, 2011 — 25 с.
3. Будыко М.И. Глобальные климатические катастрофы / М.И. Будыко, Г.С. Голицын, Ю.А. Израэль – М.: Гидрометеиздат, 1986. 159 С.
4. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко – Л.: Гидрометеиздат, 1980. 319 С.
5. Буряк В. А., Хмелевская Н. М. Сухой Лог - одно из крупнейших месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). -Владивосток Дальнаука,1997, 156 с.
6. Васильев Д.Ю. Корреляции сумм атмосферных осадков со средними и максимальными расходами воды весеннего половодья в бассейне р. 86 Белая / Д.Ю. Васильев, Н.К. Гавра, Е.С. Кочеткова, и др. // Метеорология и гидрология. 2013. №5. С. 79-90.
7. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России /А.И. Воейков. - СПб. 1884. 640 С.
8. Гельфан, А., Фролова, Н., Магрицкий, Д., Киреева, М., Григорьев, В., Мотовилов, Ю., & Гусев, Е. . (2021). Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз. Фундаментальная и прикладная климатология, 7(1), 36–79. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-36-79>
9. Георгиевский В.Ю. Гидрологический режим и водные ресурсы / В.Ю. Георгиевский, А.Л. Шалыгин // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. - М. 2012. С. 53-86.
10. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н. и др. Оценка современных изменений максимального стока рек России // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 46–55.
11. Гидрологические ежегодники, Т.1, вып. 17. Лено-Индигирский район Гидрометеиздат, 1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992.
12. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения
13. Григорьев В.Ю., Миллионщикова Т.Д., Сазонов А.А. и др. Оценка влияния изменения климатических параметров на сток рек бассейна Байкала во второй

- половине XX – начале XXI вв. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2020. № 5. С. 3–11.
14. Джамалов Р.Г. Современные изменения водных ресурсов в бассейне р. Лены / Р.Г. Джамалов, Г.Н. Кричевец, Т.И. Сафронова // Водные ресурсы. – М. 2012. Т. 39. №2. С. 131-145.
  15. Домбровский В.В. Геология Байкало-Патомского нагорья. — Иркутск: Облиздат, 1940. — 200 с
  16. Дружинин И.П. Речной сток и геофизические процессы (связи, цикличность и предвиденье) / И.П. Дружинин, З.П. Коноваленко, В.П. Кукушкина, и др. – М.: Изд-во НАУКА, 1966. 295 С.
  17. Зубенок Л.И. Испарение на континентах / Л.И. Зубенок. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. 264 С.
  18. Израэль Ю.А. Четвертый оценочный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад рабочей группы II / Ю.А. Израэль, С.М. Семенов, О.А. Анисимов и др. // Метеорология и гидрология. 2007. №9. С. 5-13
  19. Корчуганова Н.И., Костенко Н.П., Межеловский И.Н. Неотектонические методы поисков полезных ископаемых. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 212 с.
  20. Куделин Б.И. Подземный сток на территории СССР/ Б.И. Куделин. – М.: Изд-во МГУ, 1966. 302 С.
  21. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова / П.П.Кузьмин. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. 189 С.
  22. Кучмент Л.С. Модели процесса формирования речного стока / Л.С. Кучмент. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. 143 С.
  23. Латышева Инна Валентиновна, Белоусова Елена Петровна, Олемской Сергей Владимирович, Лощенко Кристина Анатольевна Современные изменения климата на территории Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2010. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-izmeneniya-klimata-na-territorii-irkutskoy-oblasti> (дата обращения: 10.04.2023).
  24. Мустаева, П. А., Латышева, И. В. Климатические особенности температурного режима Иркутской области / П. А. Мустаева, И. В. Латышева [Текст] // Труды XVII Конференции молодых ученых. — Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. — С. 246-247.

25. Орлов А.И. Прикладная статистика. Учебник. / А.И.Орлов. - М.: Издательство «Экзамен», 2004. - 656 с.
26. Поляк И.И. Оценивание линейного тренда временных метеорологических рядов / И.И. Поляк. - Л. 1975. Труды ГГО. вып. 364. С. 51-55.
27. Протасьев М.С. Ресурсы поверхностных вод СССР / М.С. Протасьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 17. 407 С.
28. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Индигорский район. Гидрометеиздат, Л., 1972 г.
29. Рождественский А.В. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. - СПб: Государственный Гидрологический институт, 2005. - 123 с.
30. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Гидрология" направления подготовки "Гидрометеорология" / А. В. Сикан ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования, Российской гос. гидрометеорологический ун-т. - Санкт-Петербург : РГГМУ, 2007. - 278 с.
31. Сикан А.В., Винокуров И.О., Дрегваль М.С. Учебное пособие по дисциплине «Гидрологические расчеты». Часть I /– Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 48 с.
32. СП 33-101-2003
33. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научно-технологические технологии, 2022. – 676 с.
34. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». <http://meteo.ru/>
35. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. - 2-е изд. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. - 373 с.
36. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л., Гидрометиздат, 1978. - 308 с.
37. Чепинога В.В. Разнообразие растительности Иркутской области с позиции флористической классификации: предварительный обзор классов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2015. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raznoobrazie-rastitelnosti-irkutskoy-oblasti-s-pozitsii-floristicheskoy-klassifikatsii-predvaritelnyy-obzor-klassov>
38. Шелутко В.А. Методы обработки и анализа гидрологической информации. - СПб: Издательство СПбГУ, 2007. - 192 с.

39. Шынбергенов Е. А. Картографо-геоинформационный анализ бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены: диссертация ... кандидата географических наук : 25.00.36 / Шынбергенов Ерлан Алимжанович; [Место защиты: Казан. (Приволж.) федер. ун-т]. - Казань, 2018. - 198 с.: ил.
40. Allen M.R. and Ingram W.J. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. – *Nature*, 2002, vol. 419, pp. 224-232.
41. Branstetter M.L. and Famiglietti J.S., 1999. Testing the sensitivity of GCM-simulated runoff to climate model resolution using a parallel river transport algorithm, in: *Preprints of 14th Conference on Hydrology*, Dallas, TX, Amer. Meteorol. Soc., pp. 391-392.
42. Dolph J. and Marks D. Characterizing the distribution of observed precipitation and runoff over the continental United States. – *Climate Change*, 1992, vol. 22, No. 2, pp. 99-119, doi: 10.1007/BF00142961.
43. Frederick, K.D., Major, D.C. *Climate Change and Water Resources*. *Climatic Change* 37, 7–23 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1005336924908>
44. *Special Report on Emission Scenarios*, N. Nakicenovich et al., 2000. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 599 p.
45. Törnqvist, Rebecka et al. “Evolution of the hydro-climate system in the Lake Baikal basin.” *Journal of Hydrology* 519 (2014): 1953-1962.
46. Wolock D.M. and McCable G.J., 1999. Estimates of runoff using water-balance and atmospheric general circulation models, *J. Amer. Water Resources Assn.*, vol. 35, No. 6, pp. 1341-1350.
47. Zorigt M., Battulga G., Sarantuya G. et al. Runoff dynamics of the upper Selenge basin, a major water source for Lake Baikal, under a swarming climate // *Reg. Environ. Change*. 2019. V. 17. P. 2609–2619.



Расчетные таблицы максимальных и минимальных расходов воды разной обеспеченности  
для рек Бодайбинского района  
Оценки основных числовых характеристик для исследуемых рек

Река/пост		$\sigma_x$	$C_v$	$C_s$
<b>р. Большой Патом – пос. Патома</b>	Максимальные расходы	815,3	0,241	0,537
<b>р. Большой Патом – пос. Патома</b>	Минимальные расходы	62,10	0,224	2.297
<b>р. Чара - с. Токко</b>	Максимальные расходы	1793,7	0,302	1,032
<b>р. Чара - с. Токко</b>	Минимальные расходы	198,8	0,393	1,581
<b>р. Жуя – пр. Светлый</b>	Максимальные расходы	285,1	0,446	2,73
<b>р. Жуя – пр. Светлый</b>	Минимальные расходы	44,97	1,214	5,500
<b>р. Чуя – с. Чуя</b>	Максимальные расходы	225,5	0,246	0,843
<b>р. Чуя – с. Чуя</b>	Минимальные расходы	28,17	0,167	1,079
<b>р. Мама-рп. Луговский</b>	Максимальные расходы	733,5	0,244	0,538
<b>р. Мама-рп. Луговский</b>	Минимальные расходы	66,02	0,248	0,065
<b>р. Витим – г. Бодайбо</b>	Максимальные расходы	2984,3	0,301	0,040
<b>р. Витим – г. Бодайбо</b>	Минимальные расходы	340,4	0,348	0,851

Расчетные таблицы координат теоретических кривых обеспеченности

Река Большой Патом-с. Патома, максимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.896	1.744	1.561	1.395	1.308	1.161	1.000	0.839	0.692	0.605	0.547	0.463	0.256
xp	6418. 7	5905. 0	5285. 4	4722. 9	4429. 4	3932. 1	3385. 8	2839. 6	2342. 3	2048. 8	1853. 1	1567. 8	866. 7

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.002	1.814	1.595	1.409	1.313	1.157	0.928	0.834	0.697	0.620	0.569	0.475	0.323
xp	6777. 4	6141. 5	5399. 6	4771. 8	4445. 7	3915. 8	3141. 3	2823. 3	2358. 6	2097. 7	1926. 5	1608. 6	1094. 9

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.83	3.81	3.04	1.77	1.32	0.62	-0.08	-0.71	-1.22	-1.49	-1.66	-1.96	-2.4
kp	2.163	1.917	1.732	1.426	1.318	1.149	0.981	0.829	0.706	0.641	0.600	0.528	0.422
xp	7323. 6	6492. 0	5864. 3	4828. 9	4462. 0	3891. 3	3320. 6	2807. 0	2391. 2	2171. 1	2032. 5	1787. 9	1429. 2

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	5.28	4.1	2.82	1.82	1.33	0.59	-0.12	-0.72	-1.18	-1.42	-1.57	-1.81	-2.14
kp	2.271	1.987	1.679	1.438	1.320	1.142	0.971	0.827	0.716	0.658	0.622	0.564	0.485
xp	7690. 5	6728. 5	5684. 9	4869. 6	4470. 2	3866. 9	3288. 0	2798. 9	2423. 8	2228. 2	2105. 9	1910. 2	1641. 2

Река Большой Патом-с. Патома, минимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.840	1.698	1.526	1.370	1.289	1.151	1.000	0.849	0.711	0.630	0.575	0.496	0.302
xp	510.2	470.7	423.1	379.9	357.4	319.2	277.2	235.3	197.1	174.5	159.5	137.6	83.7

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	1.890	1.730	1.542	1.377	1.291	1.149	0.995	0.846	0.713	0.636	0.584	0.492	0.334
xp	524.0	479.5	427.5	381.8	358.0	318.6	276.0	234.6	197.7	176.4	162.0	136.3	92.5

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	1.940	1.764	1.558	1.384	1.294	1.147	0.932	0.844	0.715	0.643	0.596	0.508	0.365
xp	537.7	488.9	431.9	383.7	358.6	317.9	258.4	234.0	198.3	178.3	165.1	140.7	101.3

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.012	1.795	1.574	1.389	1.296	1.145	0.989	0.842	0.720	0.652	0.605	0.526	0.397
xp	557.8	497.7	436.3	384.9	359.3	317.3	274.1	233.4	199.6	180.8	167.6	145.7	110.0

Река Чара-с. Токко, максимальные расходы

Cs=0

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.126	1.935	1.705	1.496	1.387	1.203	1.000	0.797	0.613	0.504	0.431	0.325	0.065
xp	12598.4	11468.4	10105.1	8867.5	8221.7	7127.5	5925.7	4723.9	3629.7	2984.0	2553.5	1925.7	383.1

Cs=Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	2.193	1.978	1.726	1.506	1.390	1.200	0.994	0.794	0.616	0.513	0.443	0.319	0.107
xp	12993.1	11719.5	10230.7	8921.3	8239.6	7109.6	5889.8	4706.0	3647.7	3037.8	2625.2	1889.8	634.2

Cs=2Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.356	2.066	1.769	1.521	1.397	1.194	0.985	0.788	0.625	0.534	0.470	0.364	0.192
xp	13961.7	12239.7	10481.8	9010.9	8275.5	7073.7	5836.0	4670.1	3701.5	3163.4	2786.7	2158.9	1136.4

Cs=3Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.61	3.66	2.61	1.75	1.32	0.63	-0.07	-0.71	-1.23	-1.52	-1.7	-2.03	-2.54
kp	2.395	2.108	1.790	1.530	1.400	1.191	0.979	0.785	0.628	0.540	0.485	0.386	0.231
xp	14194.9	12490.8	10607.4	9064.8	8293.5	7055.8	5800.2	4652.2	3719.4	3199.2	2876.4	2284.4	1369.6

Река Чара-с. Токко, минимальные расходы

Cs=0

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.463	2.215	1.916	1.645	1.503	1.263	1.000	0.737	0.497	0.355	0.261	0.123	- 0.215
xp	1245.1	1119.9	968.8	831.6	760.1	638.8	505.6	372.4	251.1	179.6	131.8	62.3	49.0

Cs=Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	2.549	2.270	1.944	1.657	1.507	1.260	0.992	0.733	0.501	0.367	0.276	0.115	- 0.160
xp	1288.9	1147.7	982.7	837.6	762.0	636.8	501.6	370.4	253.1	185.5	139.8	58.3	41.0

Cs=2Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.636	2.329	1.971	1.668	1.511	1.256	0.882	0.729	0.505	0.379	0.296	0.143	- 0.105
xp	1332.6	1177.5	996.6	843.6	764.0	634.8	445.9	368.4	255.1	191.5	149.7	72.2	53.0

Cs=3Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.762	2.384	1.999	1.676	1.515	1.252	0.980	0.725	0.512	0.394	0.312	0.174	- 0.050
xp	1396.2	1205.4	1010.6	847.5	766.0	632.8	495.6	366.4	259.1	199.4	157.7	88.1	25.2

Река Жуя- пос. Светлый, максимальные расходы

Cs=0

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.660	2.379	2.039	1.732	1.571	1.299	1.000	0.701	0.429	0.268	0.161	0.005	- 0.37 9
xp	1699. 4	1519. 8	1303. 1	1106. 4	1003. 8	829.9	639.0	448.0	274.1	171.5	103.0	3.3	1.2

Cs=Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	- 0.69	- 1.26	- 1.58	- 1.79	- 2.18	- 2.81
kp	2.856	2.508	2.102	1.758	1.580	1.290	0.866	0.692	0.438	0.295	0.201	0.027	- 0.254
xp	1824. 8	1602. 4	1343. 0	1123. 5	1009. 5	824.2	553.4	442.3	279.8	188.6	128.7	17.5	9.5

Cs=2Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.83	3.81	3.04	1.77	1.32	0.62	-0.08	-0.71	-1.22	-1.49	-1.66	-1.96	-2.4
kp	3.155	2.700	2.356	1.790	1.589	1.277	0.964	0.683	0.456	0.335	0.259	0.126	- 0.071
xp	2015. 8	1725. 0	1505. 5	1143. 5	1015. 2	815.7	616.1	436.6	291.2	214.2	165.8	80.2	23.4

Cs=3Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	5.28	4.1	2.82	1.82	1.33	0.59	-0.12	-0.72	-1.18	-1.42	-1.57	-1.81	-2.14
kp	3.356	2.829	2.258	1.812	1.593	1.26 3	0.94 6	0.67 9	0.47 4	0.36 6	0.30 0	0.19 3	0.04 5
xp	2144. 0	1807. 7	1442. 8	1157. 7	1018. 1	807. 1	604. 7	433. 7	302. 6	234. 2	191. 4	123. 0	28.9

Река Жуя- пос. Светлый, минимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.822	2.514	2.141	1.803	1.627	1.328	1.000	0.672	0.373	0.197	0.079	-0.092	-0.514
xp	88.9	79.2	67.5	56.8	51.3	41.8	31.5	21.2	11.7	6.2	2.5	2.0	1.2

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	3.038	2.656	2.210	1.833	1.637	1.318	0.853	0.662	0.383	0.226	0.123	-0.068	-0.377
xp	95.7	83.7	69.6	57.7	51.6	41.5	26.9	20.9	12.1	7.1	3.9	2.1	1.0

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.61	3.66	2.61	1.75	1.32	0.63	-0.07	-0.71	-1.23	-1.52	-1.7	-2.03	-2.54
kp	3.258	2.793	2.279	1.857	1.647	1.309	0.966	0.652	0.397	0.255	0.167	0.006	-0.244
xp	102.6	88.0	71.8	58.5	51.9	41.2	30.4	20.5	12.5	8.0	5.3	4.1	2.1

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	5.05	3.96	2.75	1.8	1.33	0.61	-0.1	-0.72	-1.2	-1.45	-1.61	-1.88	-2.27
kp	3.474	2.940	2.347	1.882	1.652	1.299	0.951	0.647	0.412	0.290	0.211	0.079	-0.112
xp	109.4	92.6	73.9	59.3	52.0	40.9	30.0	20.4	13.0	9.1	6.7	2.5	1.8

Река Чуя- с. Чуя, максимальные расходы

Cs=0

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.913	1.759	1.572	1.403	1.314	1.165	1.000	0.835	0.686	0.597	0.538	0.452	0.241
xp	1756.8	1614.7	1443.4	1287.8	1206.7	1069.2	918.1	767.0	629.5	548.4	494.3	415.3	1.2

Cs=Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	1.968	1.793	1.589	1.410	1.317	1.162	0.995	0.833	0.688	0.605	0.548	0.447	0.276
xp	1806.4	1646.3	1459.2	1294.6	1208.9	1066.9	913.6	764.8	631.8	555.1	503.3	410.8	9.5

Cs=2Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.022	1.830	1.607	1.417	1.319	1.160	0.926	0.831	0.691	0.612	0.560	0.465	0.310
xp	1856.0	1680.1	1475.0	1301.4	1211.2	1064.6	850.5	762.5	634.0	561.9	514.5	426.6	23.4

Cs=3Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.100	1.864	1.624	1.422	1.322	1.157	0.988	0.828	0.696	0.622	0.570	0.484	0.344
xp	1928.1	1711.7	1490.7	1305.9	1213.4	1062.4	906.8	760.3	638.5	570.9	523.6	444.7	316.1



Река Чуя- с. Чуя, минимальные расходы

Cs=0

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.621	1.516	1.389	1.274	1.214	1.112	1.000	0.888	0.786	0.726	0.686	0.628	0.484
xp	273.6	255.8	234.4	215.0	204.8	187.6	168.8	149.9	132.7	122.5	115.8	105.9	81.7

Cs=Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	1.658	1.539	1.401	1.279	1.215	1.110	0.997	0.886	0.788	0.731	0.693	0.624	0.507
xp	279.8	259.8	236.4	215.8	205.1	187.3	168.2	149.6	133.0	123.4	116.9	105.4	85.6

Cs=2Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	1.695	1.564	1.412	1.284	1.217	1.109	0.950	0.885	0.790	0.736	0.701	0.636	0.531
xp	286.0	264.0	238.3	216.7	205.4	187.1	160.3	149.3	133.3	124.2	118.3	107.3	89.6

Cs=3Cv

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	1.748	1.588	1.424	1.287	1.219	1.107	0.992	0.883	0.793	0.743	0.708	0.649	0.554
xp	295.0	267.9	240.3	217.2	205.7	186.8	167.3	149.0	133.8	125.4	119.5	109.6	93.5

Река Мама – р.п.Луговский, максимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.908	1.754	1.569	1.400	1.312	1.164	1.000	0.836	0.688	0.600	0.541	0.456	0.246
xp	5734.4	5272.3	4714.8	4208.7	3944.6	3497.2	3005.7	2514.3	2066.8	1802.8	1626.7	1370.0	739.2

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	1.962	1.788	1.586	1.408	1.315	1.161	0.995	0.834	0.690	0.607	0.551	0.451	0.280
xp	5895.8	5375.0	4766.2	4230.7	3952.0	3489.8	2991.1	2506.9	2074.2	1824.8	1656.1	1355.3	841.9

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.015	1.825	1.603	1.415	1.317	1.159	0.927	0.832	0.693	0.614	0.563	0.468	0.314
xp	6057.2	5485.0	4817.5	4252.7	3959.3	3482.5	2785.7	2499.6	2081.5	1846.8	1692.7	1406.7	944.5

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.093	1.859	1.620	1.420	1.320	1.156	0.988	0.829	0.697	0.624	0.573	0.488	0.348
xp	6291.9	5587.7	4868.9	4267.4	3966.6	3475.2	2969.1	2492.3	2096.2	1876.1	1722.1	1465.3	1047.2

Река Мама – р.п.Луговский, минимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	1.922	1.766	1.578	1.407	1.317	1.166	1.000	0.834	0.683	0.593	0.534	0.447	0.234
xp	511.8	470.2	420.1	374.5	350.7	310.5	266.2	222.0	181.7	158.0	142.1	119.0	62.3

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	1.977	1.801	1.595	1.414	1.320	1.164	0.995	0.831	0.685	0.601	0.544	0.442	0.269
xp	526.3	479.5	424.7	376.5	351.4	309.8	264.9	221.4	182.4	160.0	144.8	117.7	71.5

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.031	1.838	1.612	1.422	1.322	1.161	0.926	0.829	0.688	0.608	0.556	0.459	0.303
xp	540.9	489.4	429.3	378.5	352.1	309.2	246.4	220.7	183.1	161.9	148.1	122.3	80.7

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.111	1.873	1.630	1.426	1.325	1.159	0.988	0.826	0.693	0.618	0.566	0.479	0.338
xp	562.0	498.6	433.9	379.8	352.7	308.5	262.9	220.0	184.4	164.6	150.7	127.6	90.0

Река Витим – г. Бодайбо, максимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.120	1.930	1.701	1.494	1.385	1.202	1.000	0.798	0.615	0.506	0.434	0.329	0.070
xp	21016.4	19136.3	16868.3	14809.2	13734.8	11914.4	9915.0	7915.6	6095.2	5020.8	4304.6	3260.1	693.7

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	2.186	1.972	1.722	1.503	1.388	1.199	0.994	0.795	0.618	0.515	0.446	0.323	0.112
xp	21672.9	19554.1	17077.2	14898.7	13764.7	11884.6	9855.3	7885.7	6125.0	5110.4	4424.0	3200.4	1111.5

$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.252	2.017	1.743	1.512	1.391	1.196	0.910	0.792	0.621	0.524	0.461	0.344	0.154
xp	22329.5	20001.8	17286.1	14988.2	13794.5	11854.8	9019.7	7855.9	6154.8	5199.9	4573.2	3409.3	1529.3

$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.348	2.059	1.764	1.518	1.394	1.193	0.985	0.789	0.627	0.536	0.473	0.368	0.196
xp	23284.4	20419.6	17495.0	15047.9	13824.4	11824.9	9765.8	7826.0	6214.5	5319.3	4692.6	3648.1	1947.1

Река Витим – г. Бодайбо, минимальные расходы

$C_s=0$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64	-1.88	-2.23	-3.09
kp	2.293	2.074	1.810	1.570	1.445	1.233	1.000	0.767	0.555	0.430	0.347	0.225	0.074
xp	2245.3	2030.9	1772.2	1537.4	1414.8	1207.2	979.2	751.1	543.5	421.0	339.3	220.2	12.8

$C_s=C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	3.94	3.23	2.4	1.67	1.29	0.66	-0.02	-0.68	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95
kp	2.370	2.123	1.834	1.580	1.448	1.229	0.993	0.764	0.559	0.440	0.360	0.218	0.025
xp	2320.2	2078.5	1796.0	1547.6	1418.2	1203.8	972.4	747.7	546.9	431.2	352.9	213.4	18.0

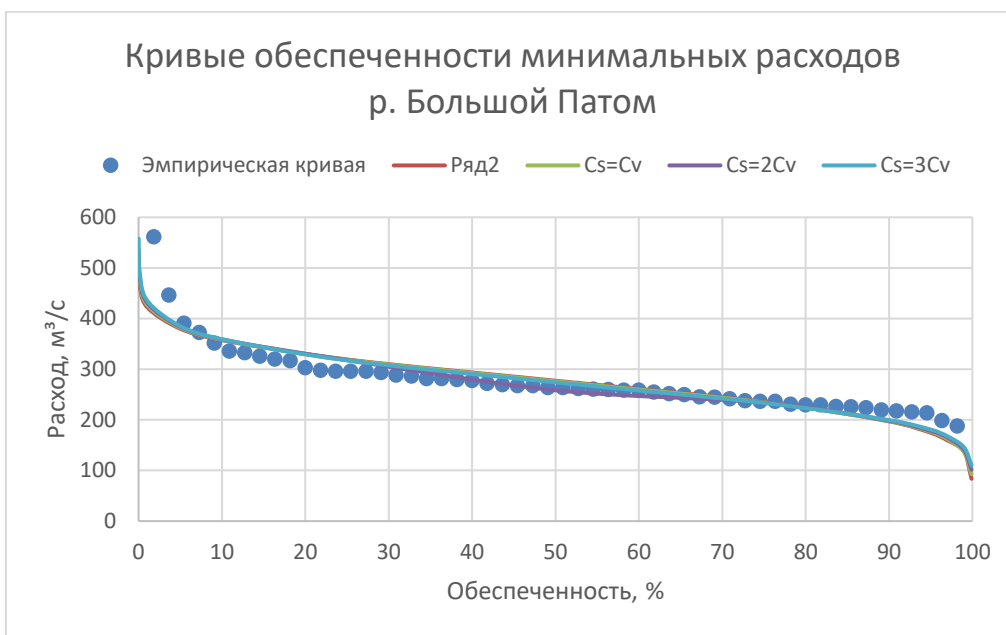
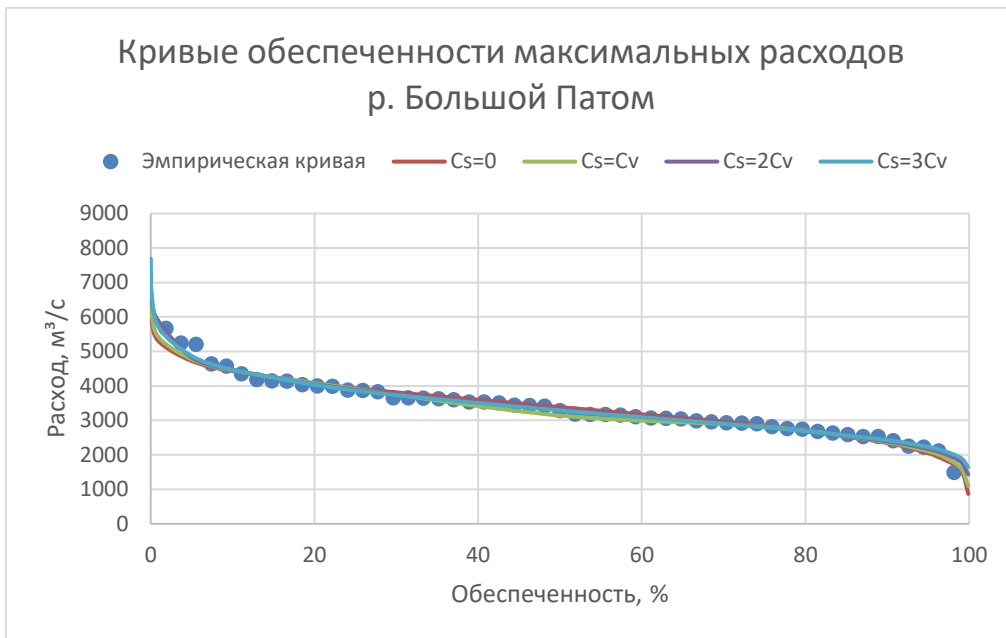
$C_s=2C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.65	-0.3	-0.69	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
kp	2.446	2.175	1.859	1.591	1.452	1.226	0.896	0.760	0.562	0.451	0.378	0.242	0.023
xp	2395.1	2129.6	1819.9	1557.8	1421.6	1200.4	877.1	744.3	550.3	441.4	369.9	237.2	22.8

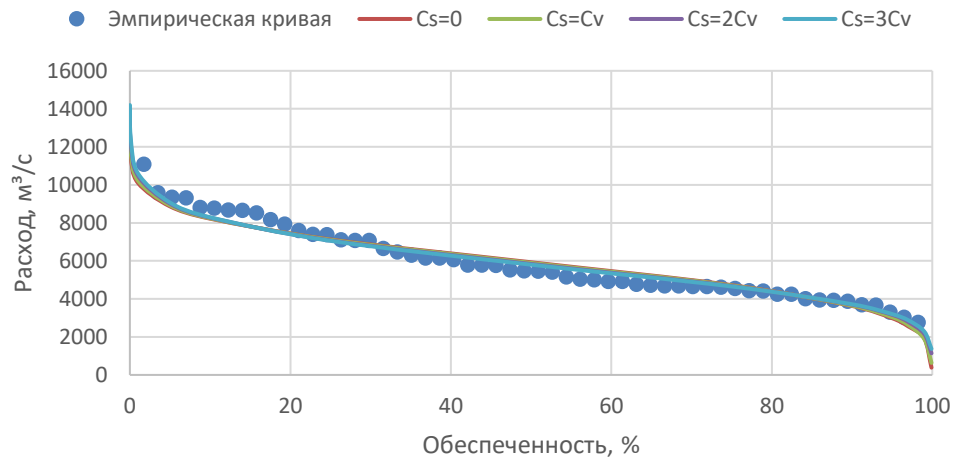
$C_s=3C_v$

P, %	0.01	0.1	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9
tp	4.48	3.52	2.54	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.7	-1.24	-1.54	-1.75	-2.1	-2.67
kp	2.557	2.224	1.883	1.598	1.455	1.222	0.983	0.757	0.569	0.465	0.392	0.270	0.072
xp	2504.0	2177.2	1843.7	1564.6	1425.0	1197.0	962.2	740.9	557.1	455.0	383.5	264.4	70.4

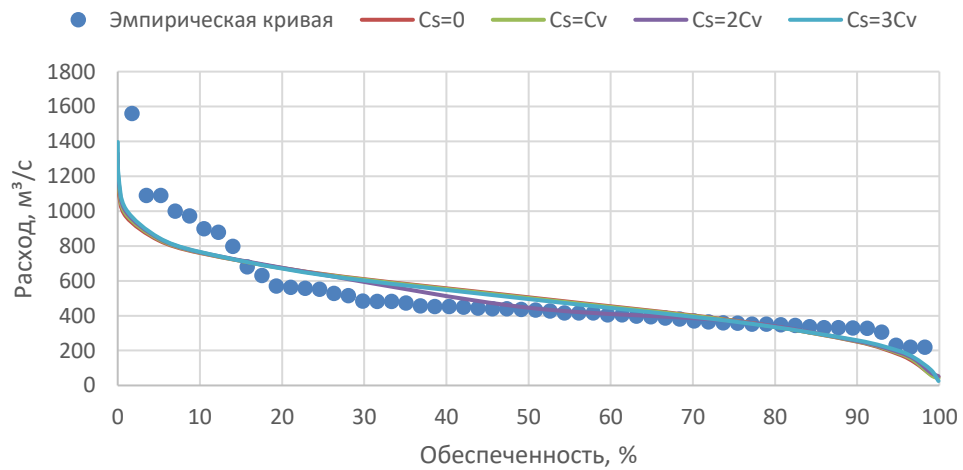
Теоретические кривые обеспеченности максимальных уровней воды рек Байкальского региона



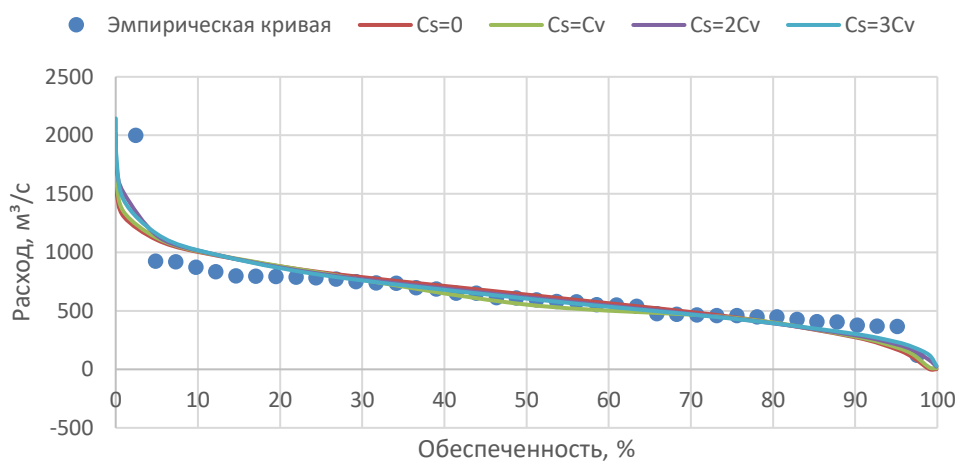
### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Чара



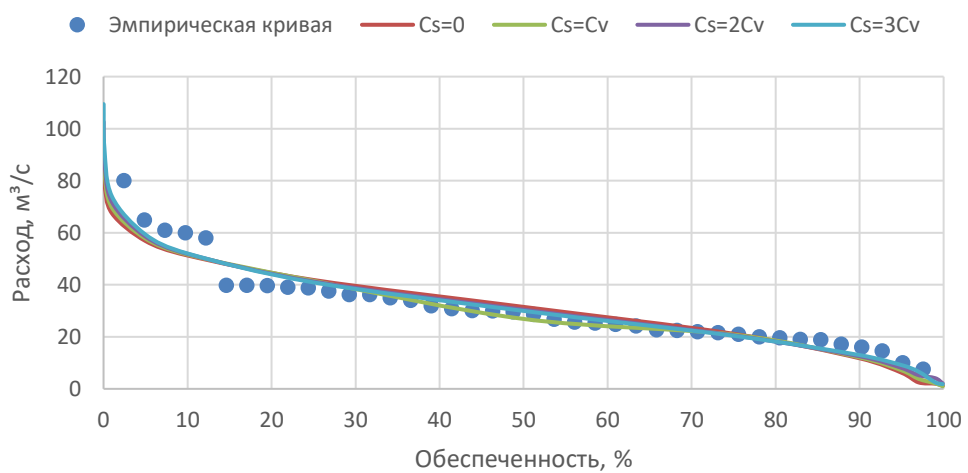
### Кривые обеспеченности минимальных расходов р. Чара



### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Жуя

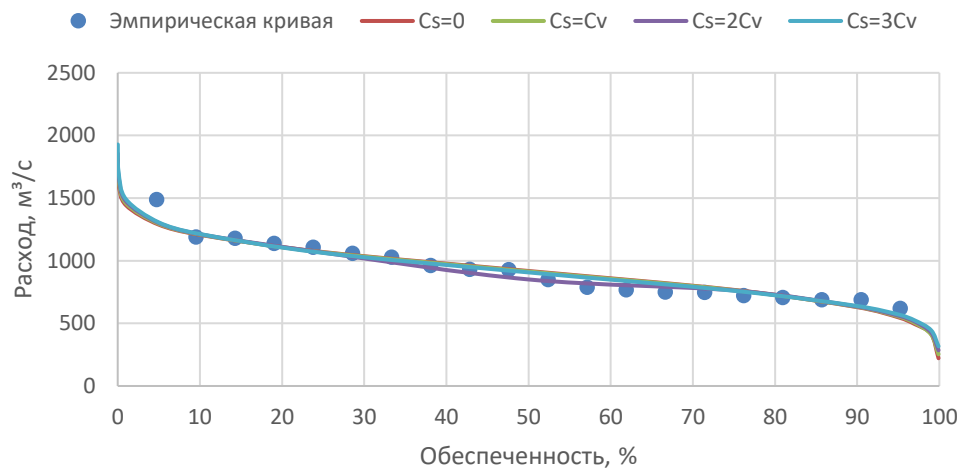


### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Жуя

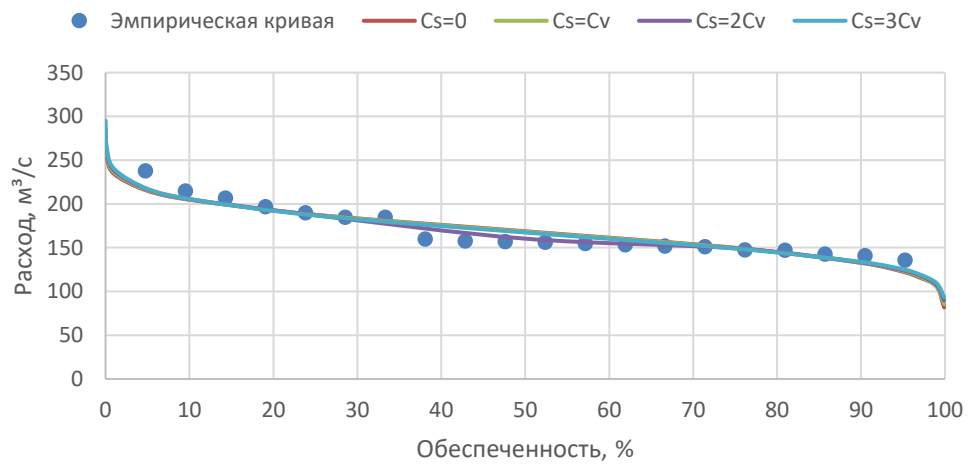




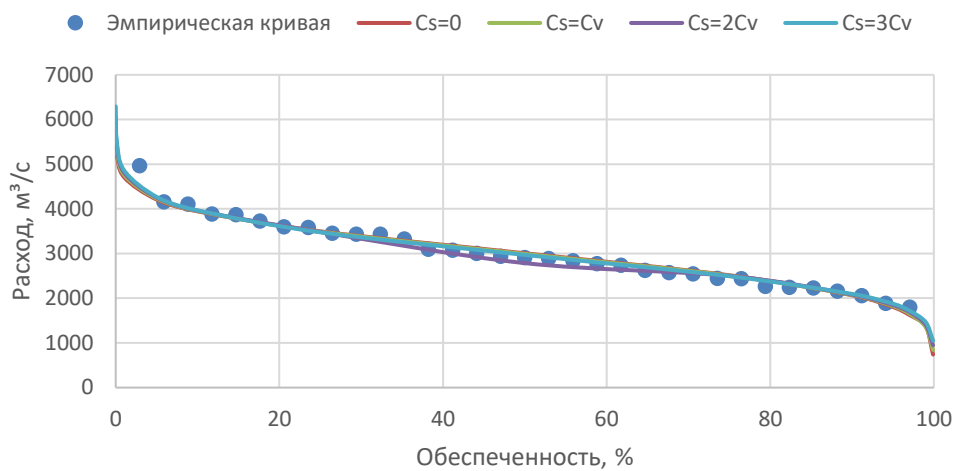
### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Чуя



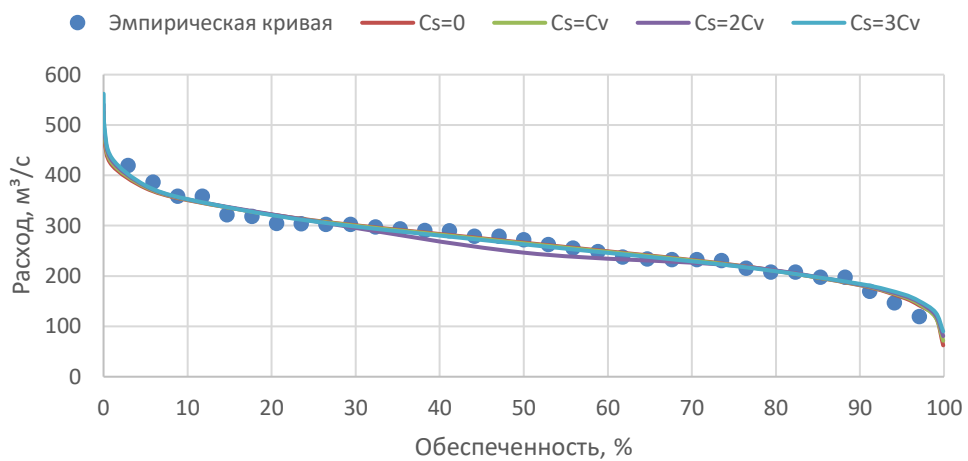
### Кривые обеспеченности минимальных расходов р. Чуя



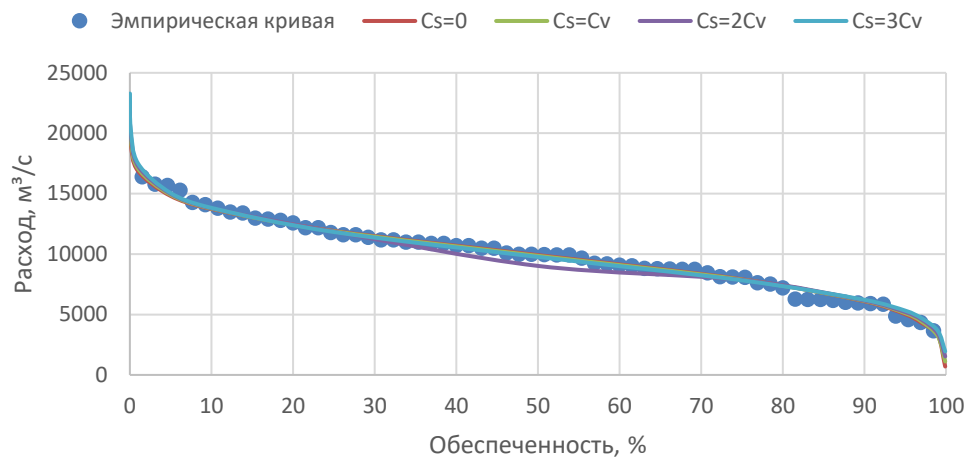
### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Мама



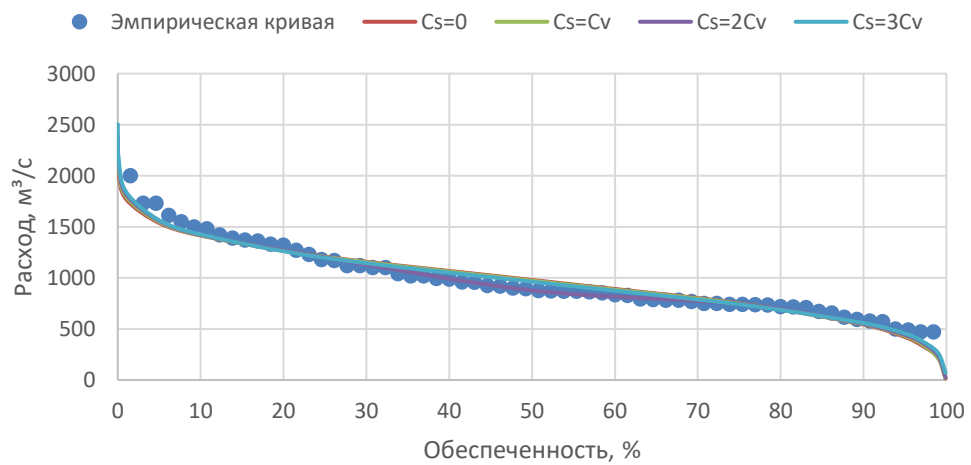
### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Мама



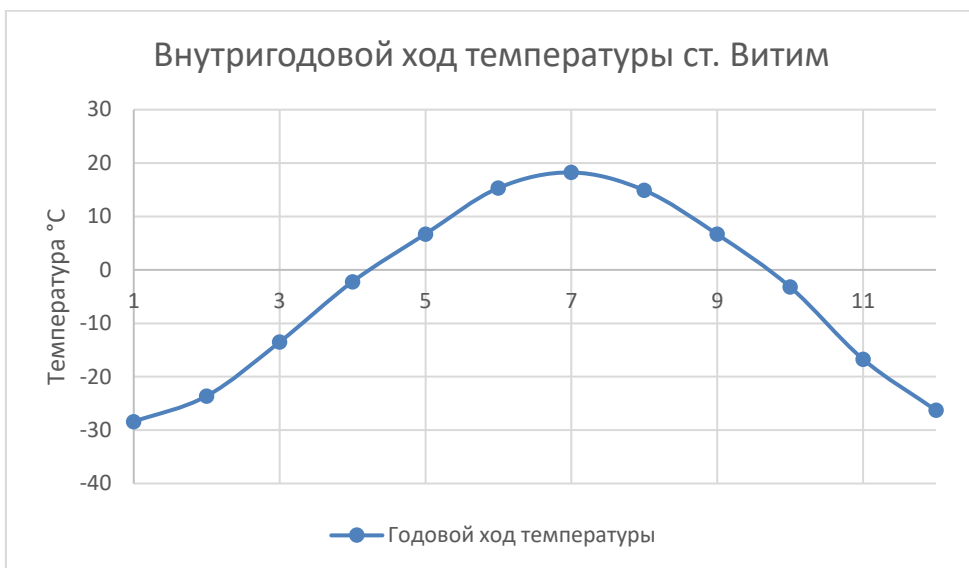
### Кривые обеспеченности максимальных расходов р. Витим



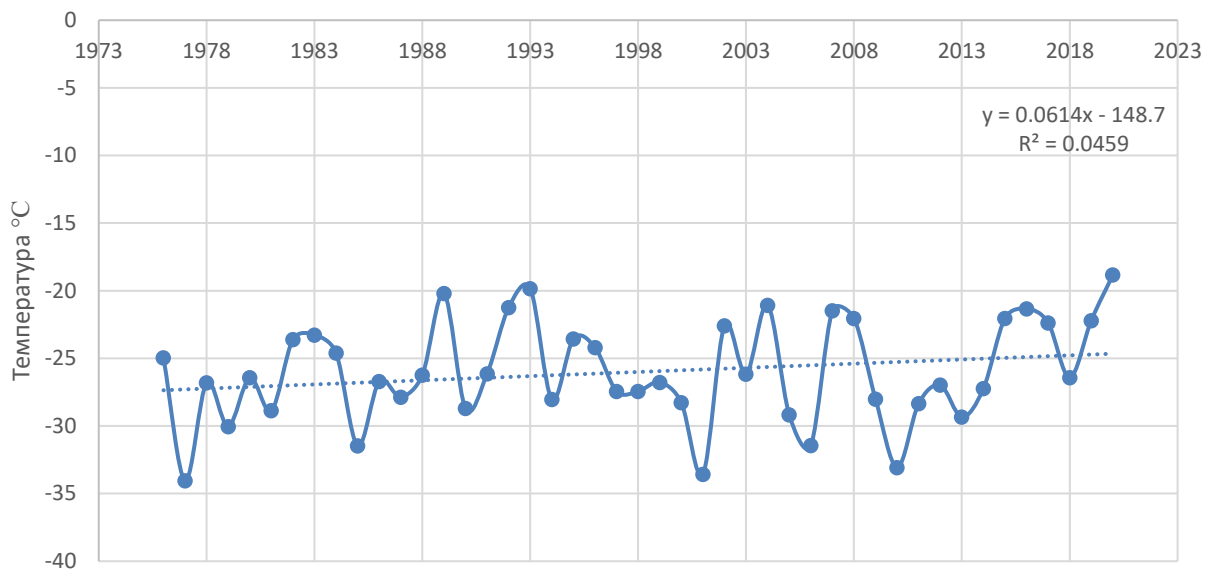
### Кривые обеспеченности минимальных расходов р. Витим



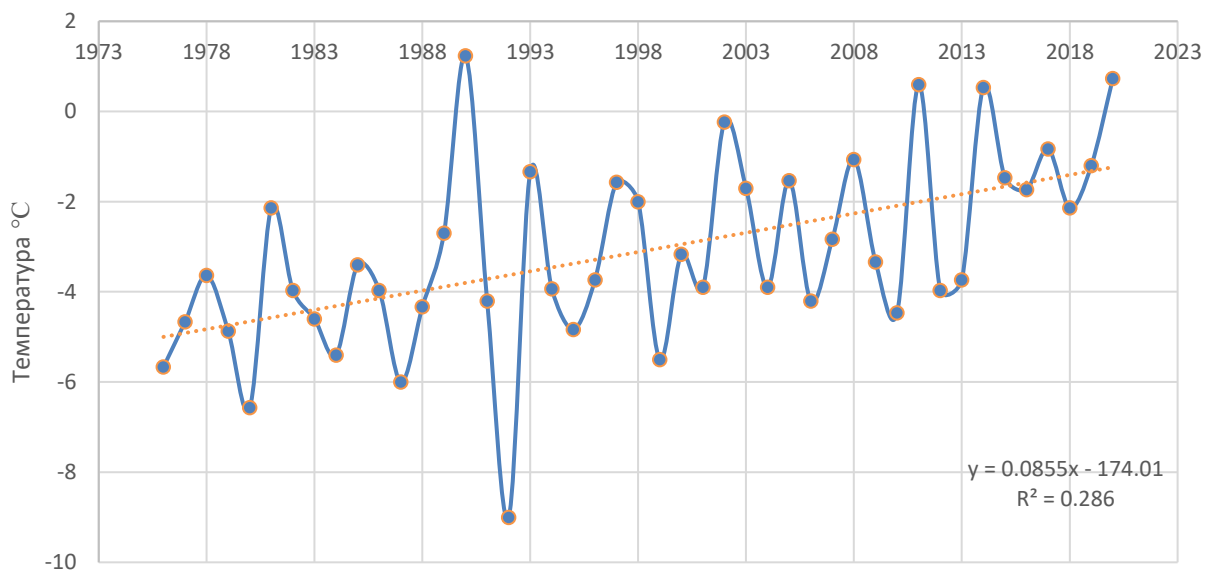
Графики климатических характеристик



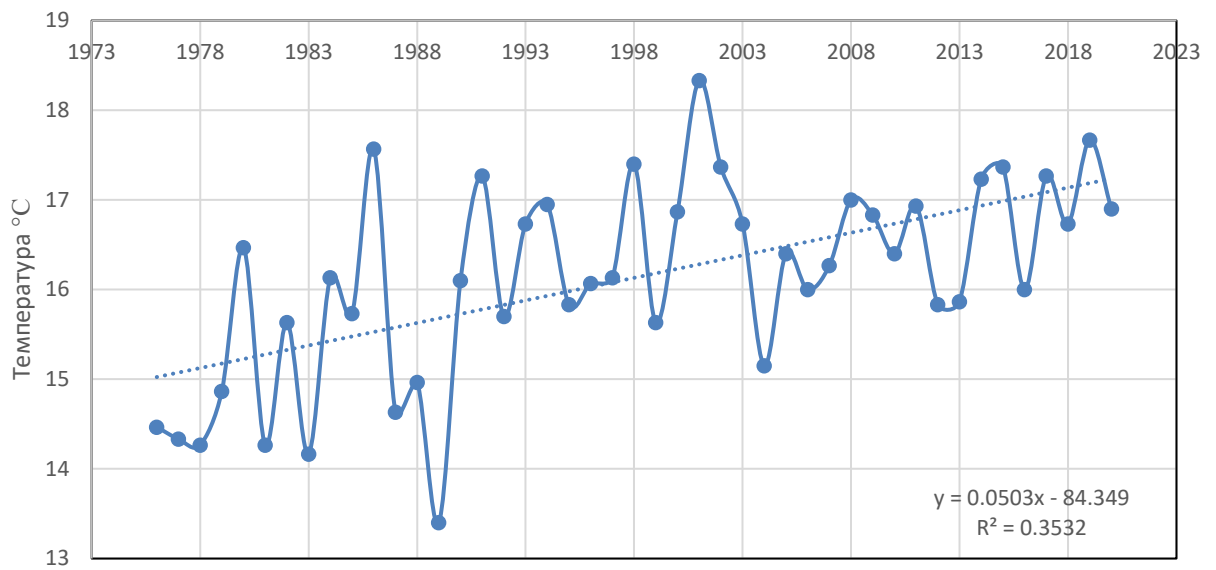
Температура зимы ст. Витим за 1976-2020



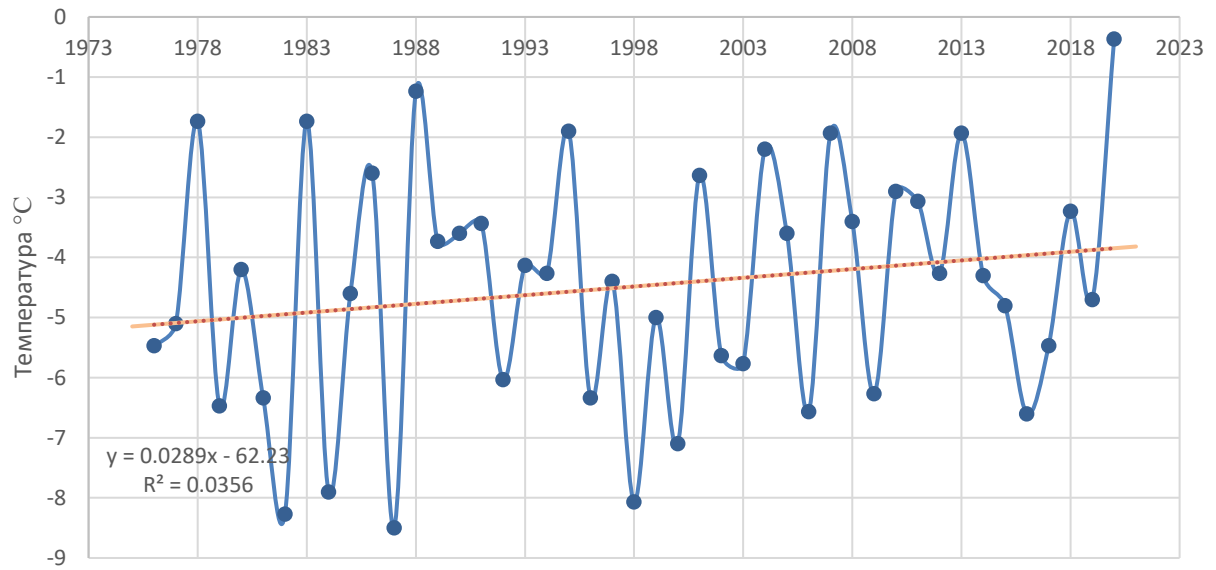
Температура весны ст. Витим за 1976-2020

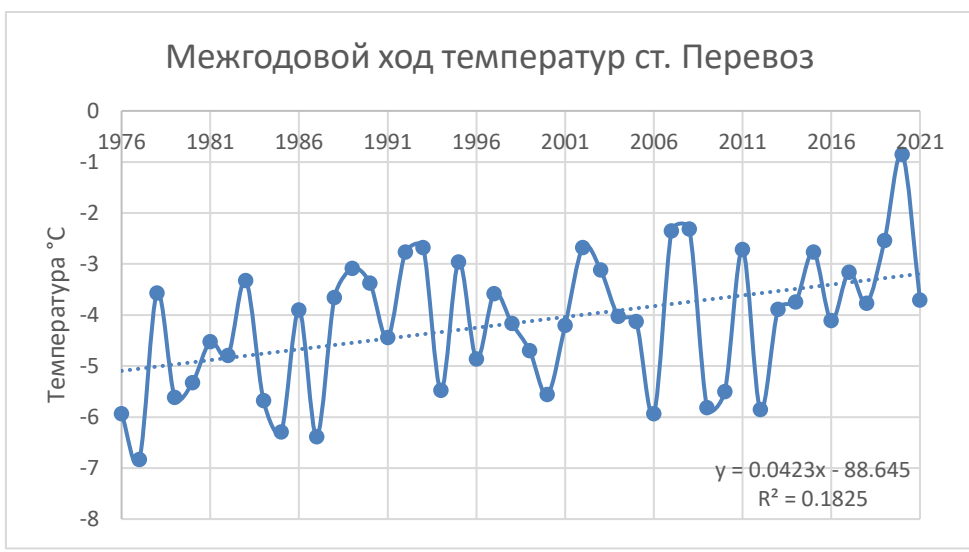
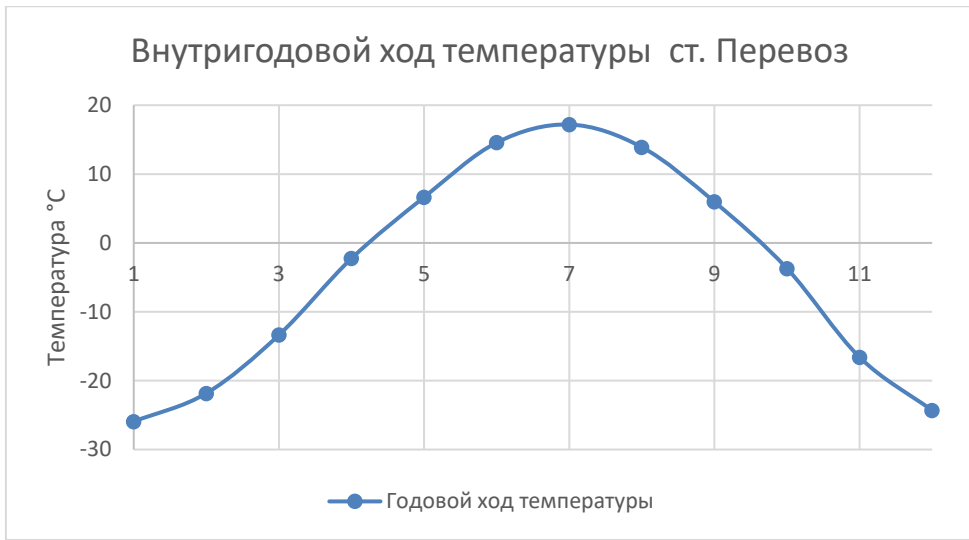


Температура лета ст. Витим за 1976-2020

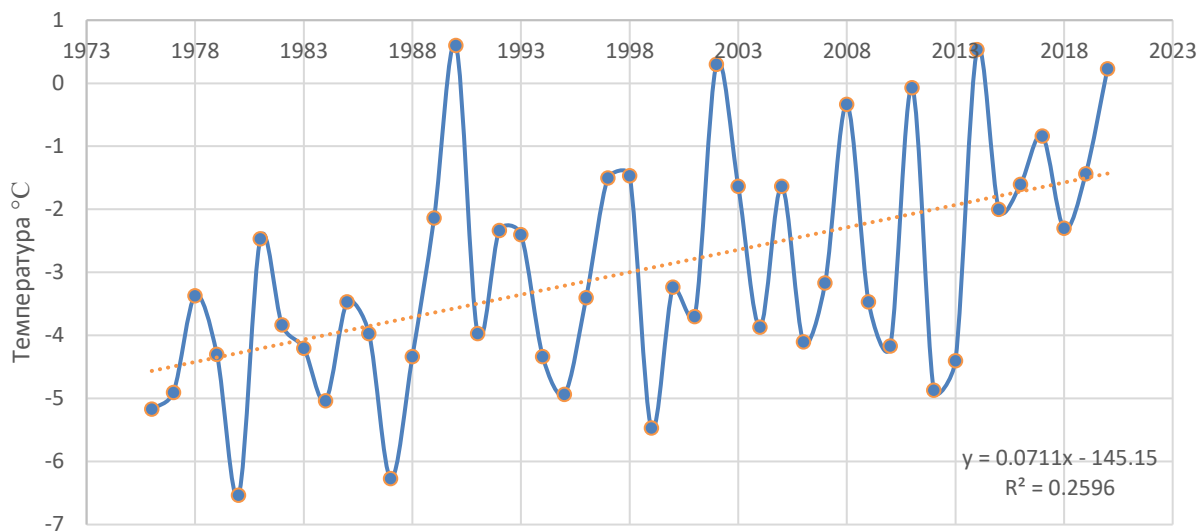


Температура осени ст. Витим за 1976-2020

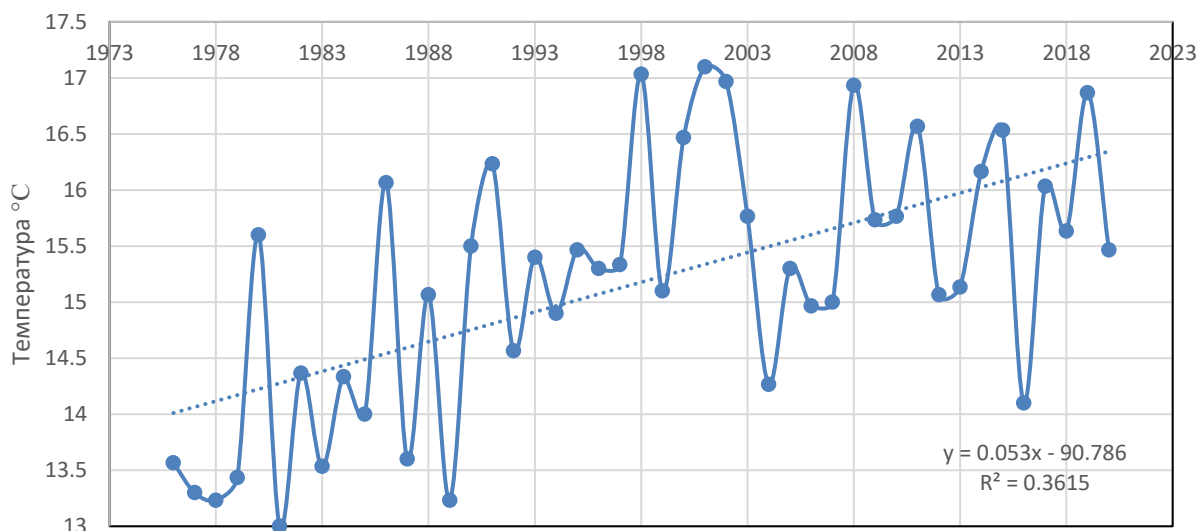




Температура весны ст. Перевоз за 1976-2020



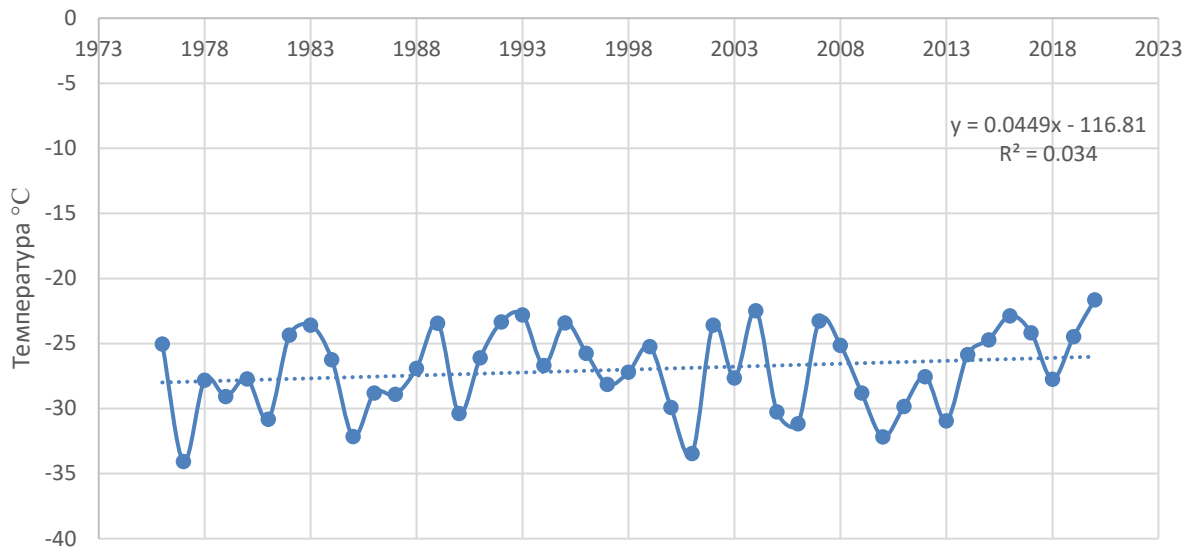
Температура лета ст. Перевоз за 1976-2020



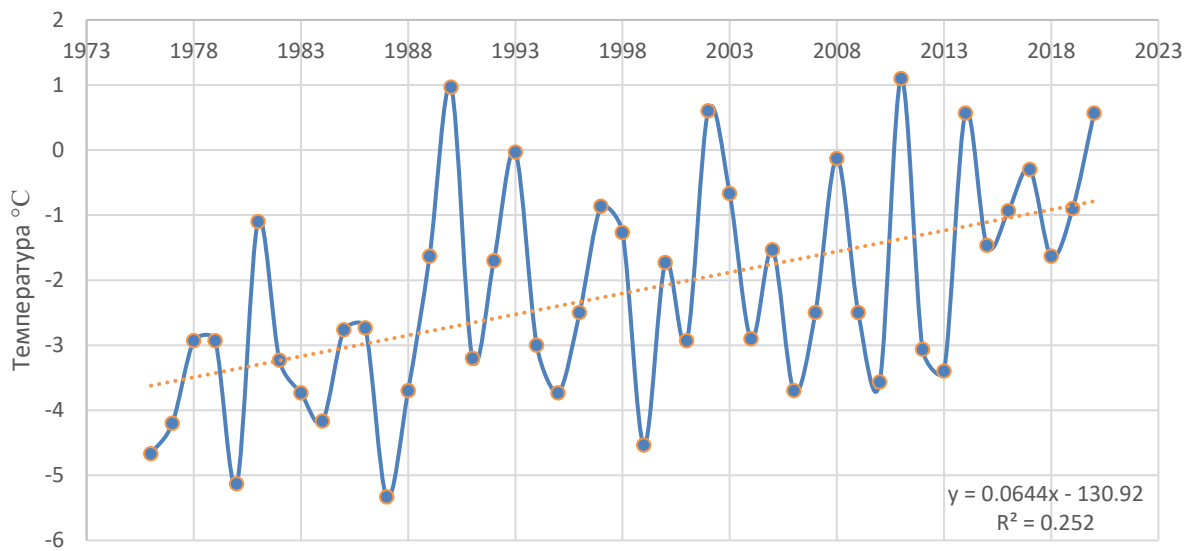




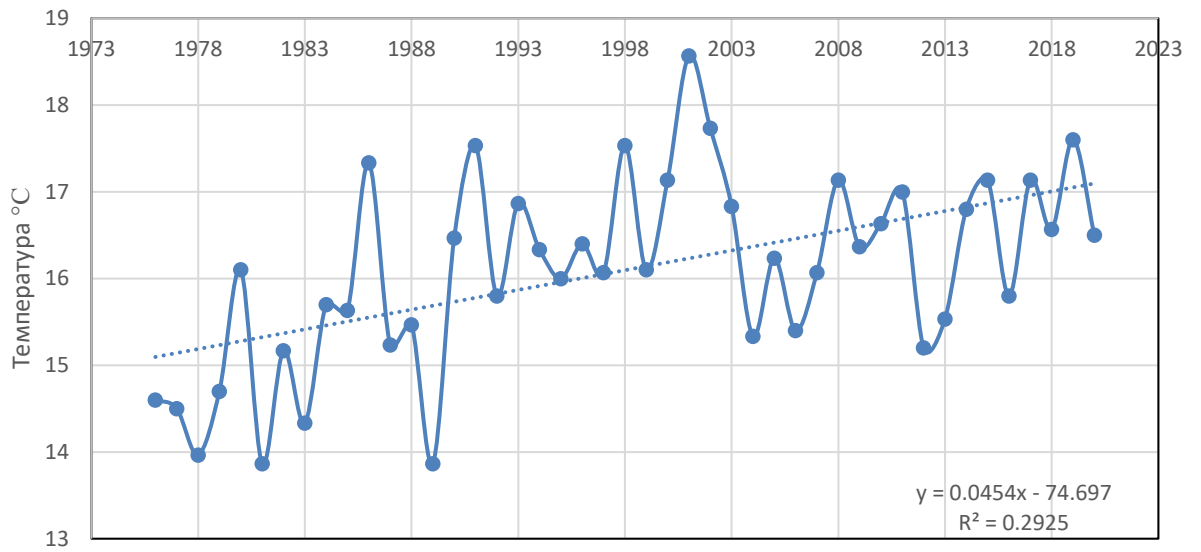
Температура зимы ст. Мамакан за 1976-2020



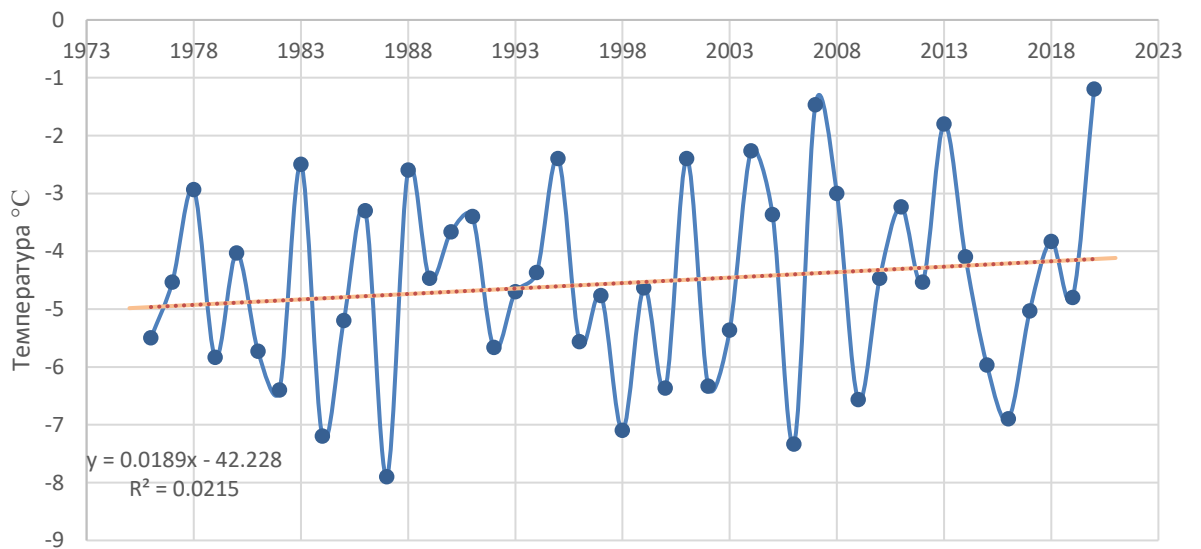
Температура весны ст. Мамакан за 1976-2020

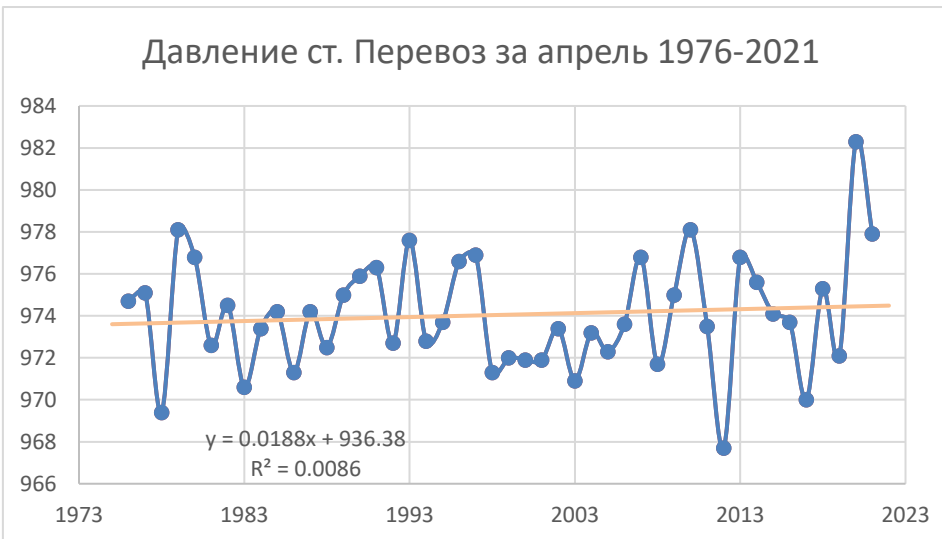
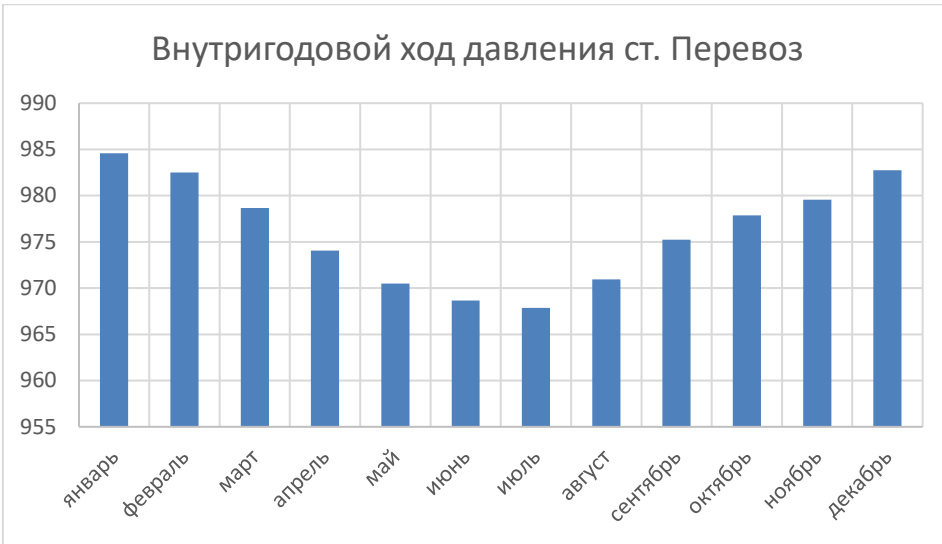


Температура лета ст. Мамакан за 1976-2020

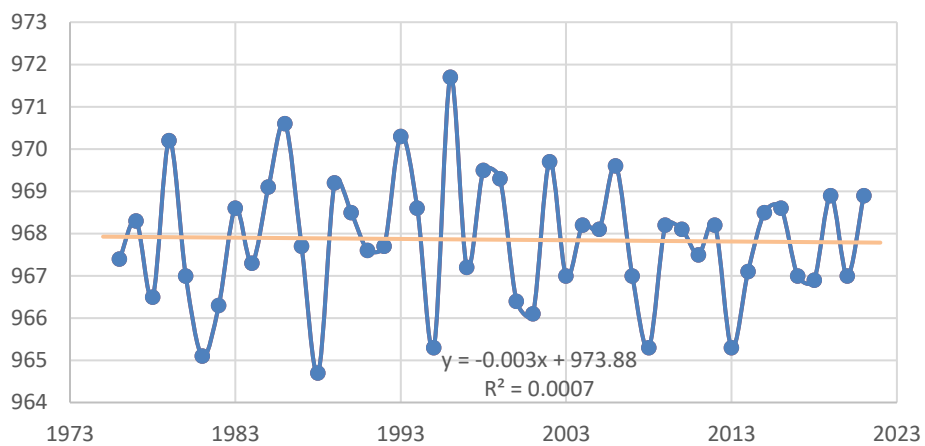


Температура осени ст. Мамакан за 1976-2020

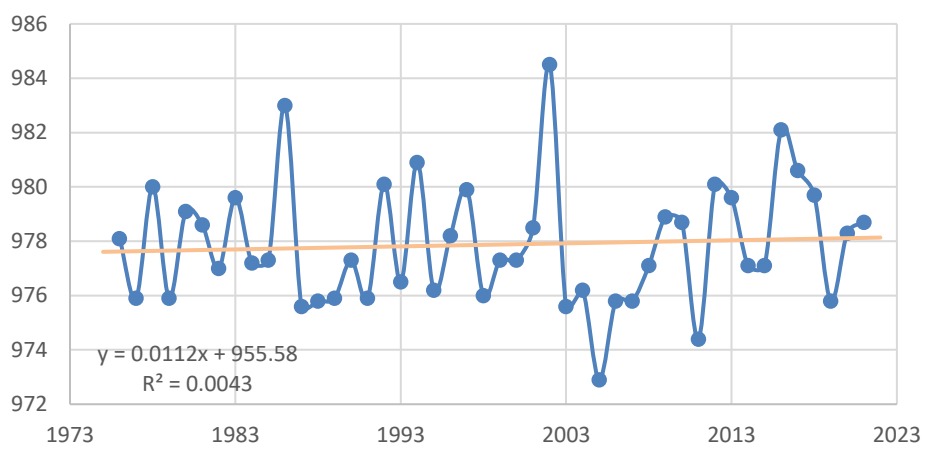




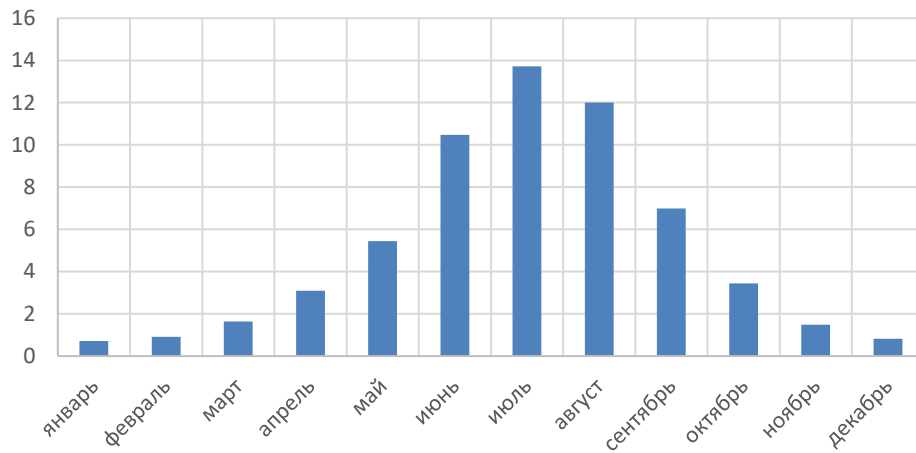
Давление ст. Перевоз за июль 1976-2021



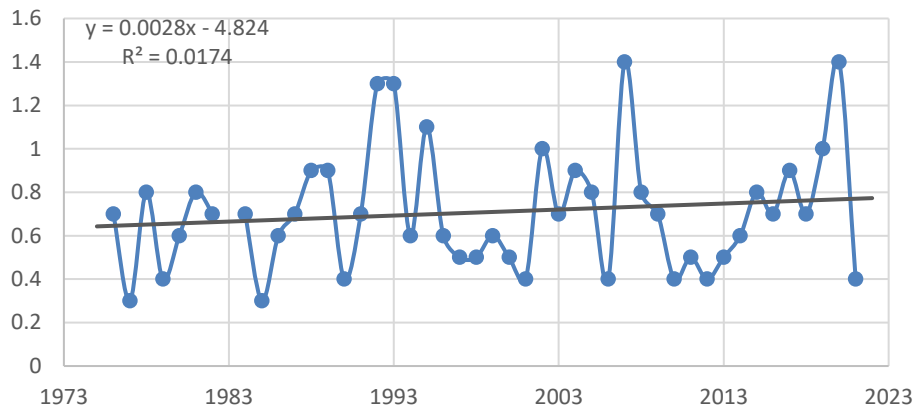
Давление ст. Перевоз за октябрь 1976-2021



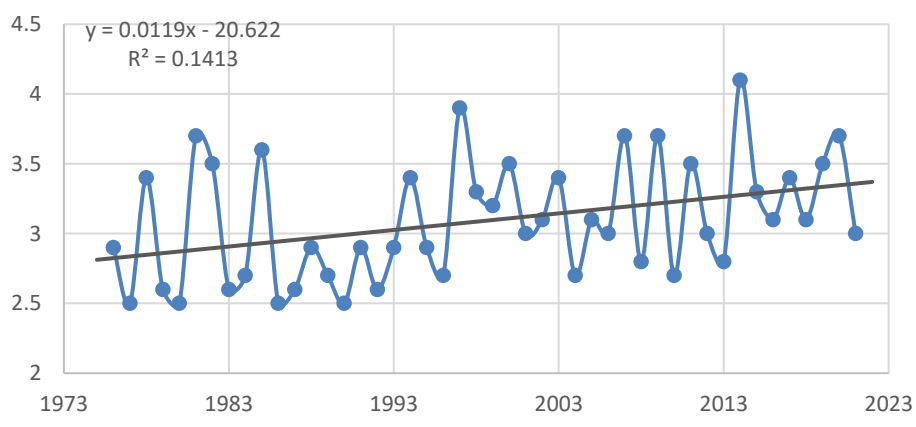
Внутригодовой ход упр. вод. пара ст. Перевоз



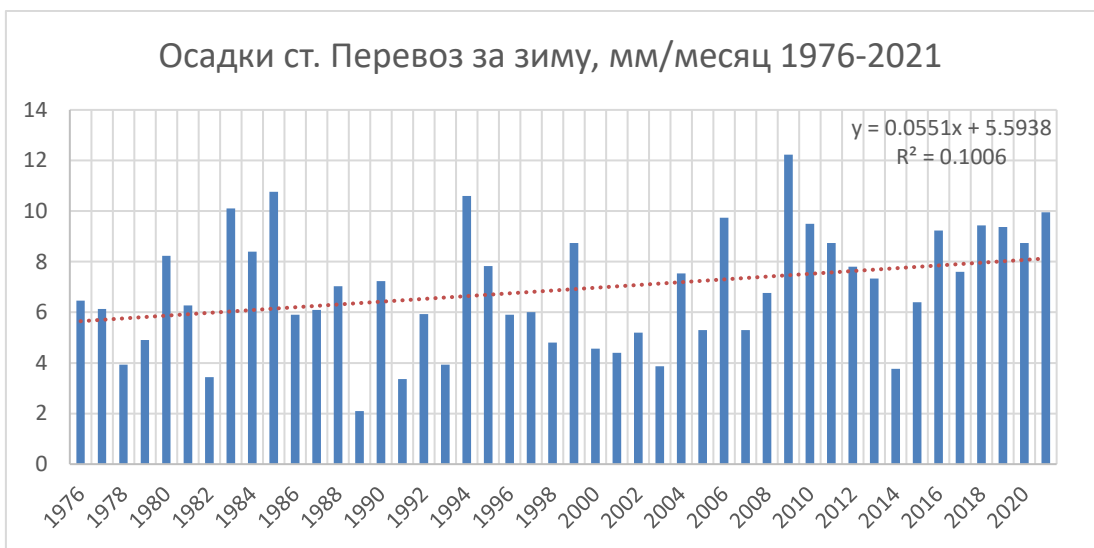
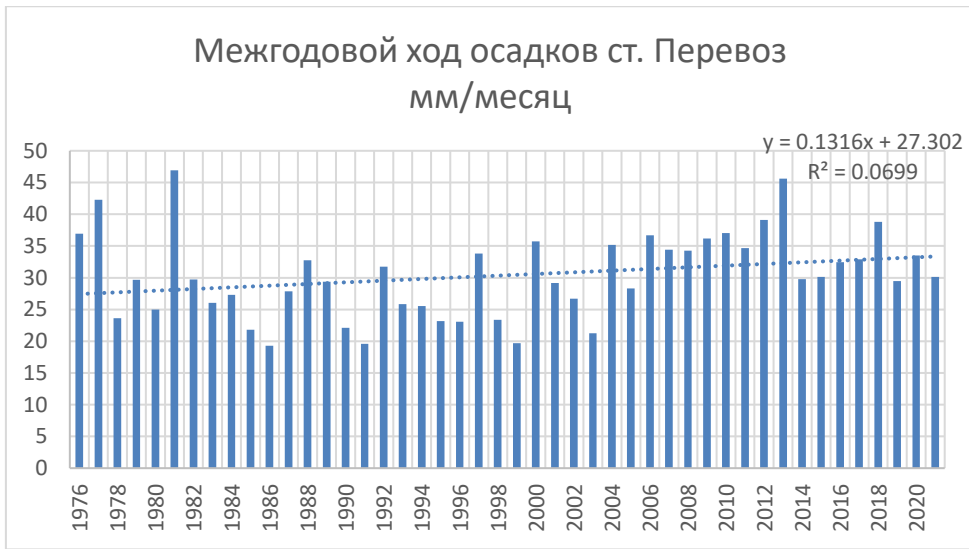
Упр. вод. пара ст. Перевоз за январь 1976-2021



Упр. вод. пара ст. Перевоз за апрель 1976-2021

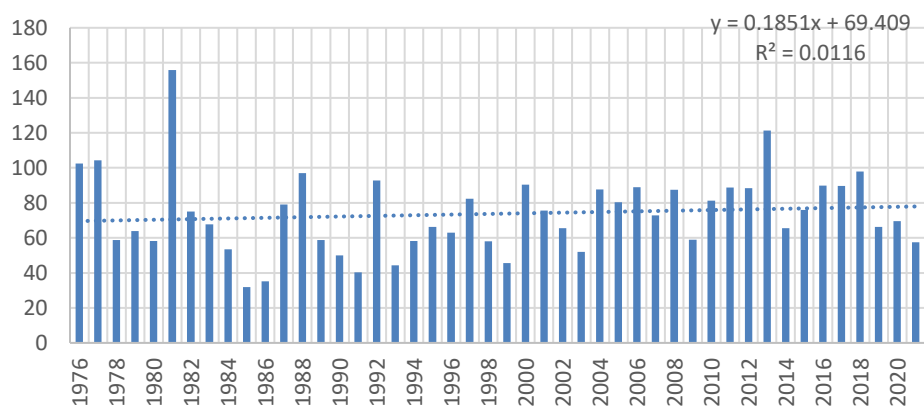




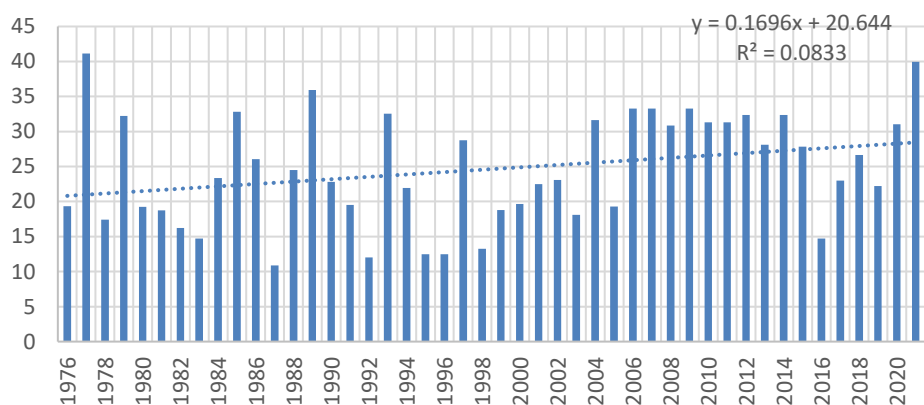




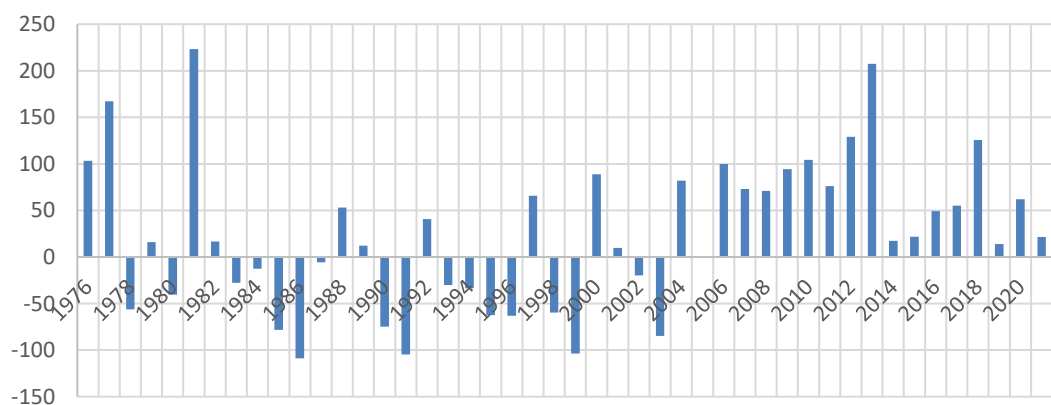
Осадки ст. Перевоз за лето, мм/месяц 1976-2021

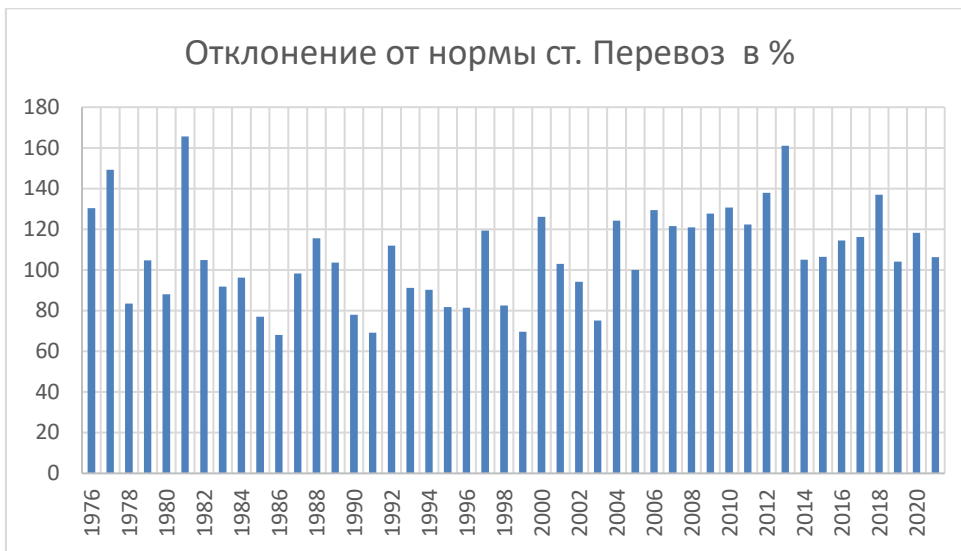


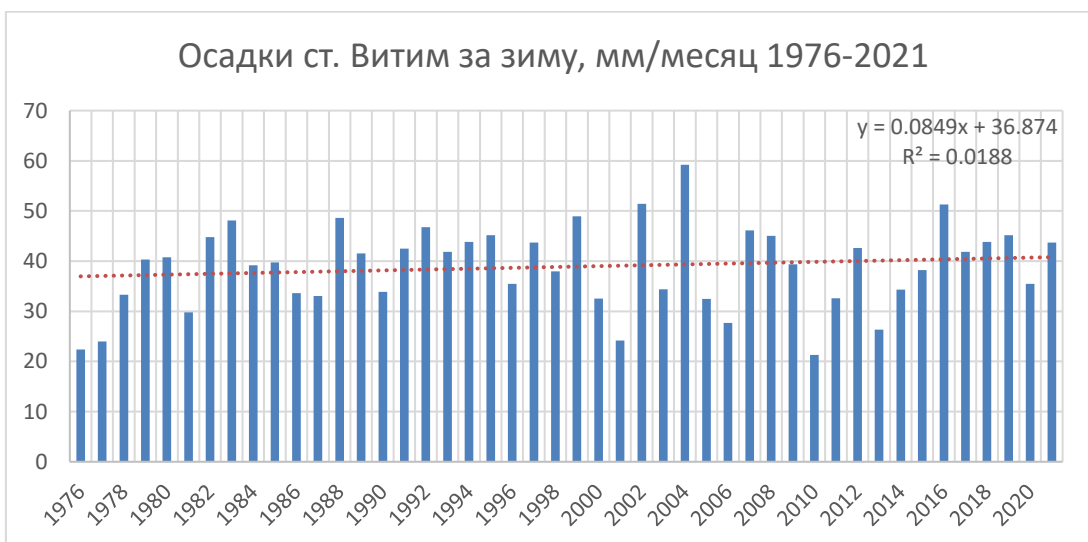
Осадки ст. Перевоз за осень, мм/месяц 1976-2021

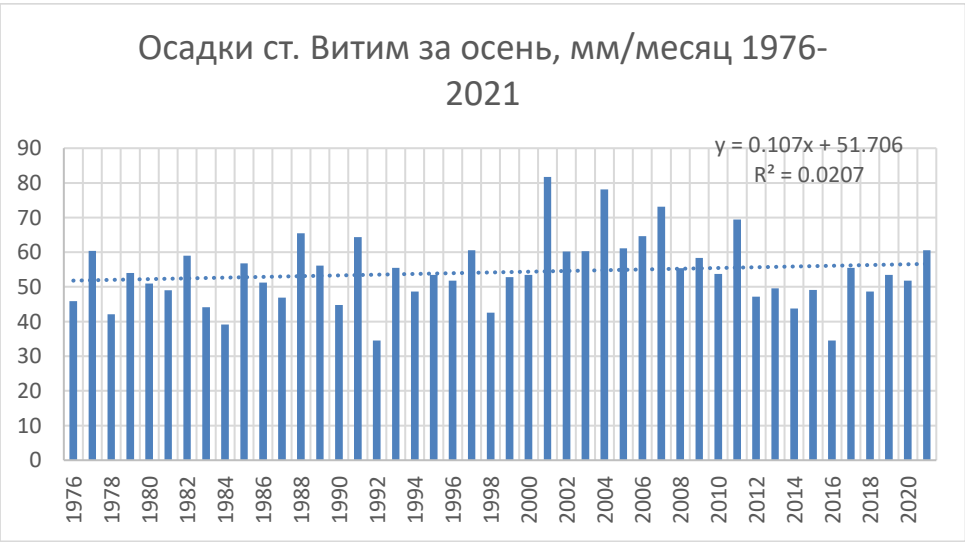
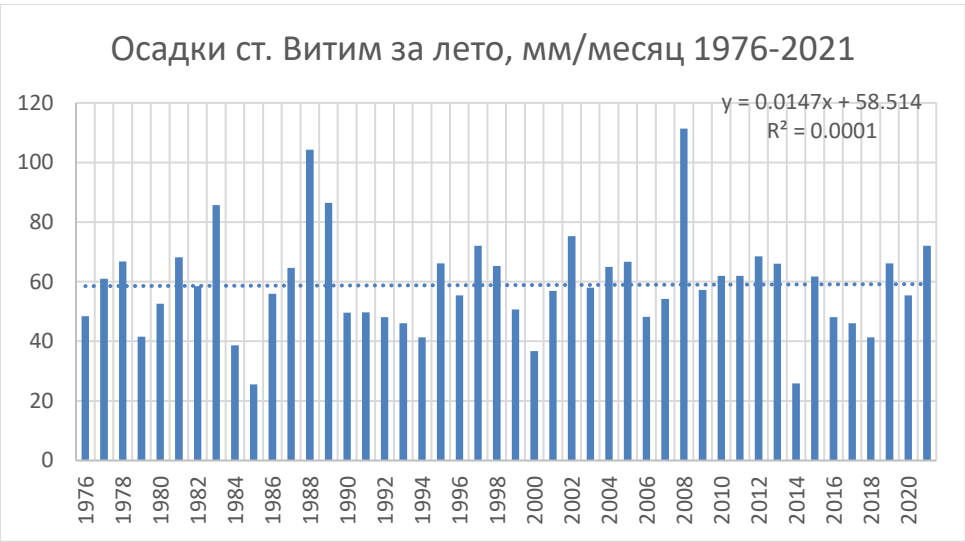
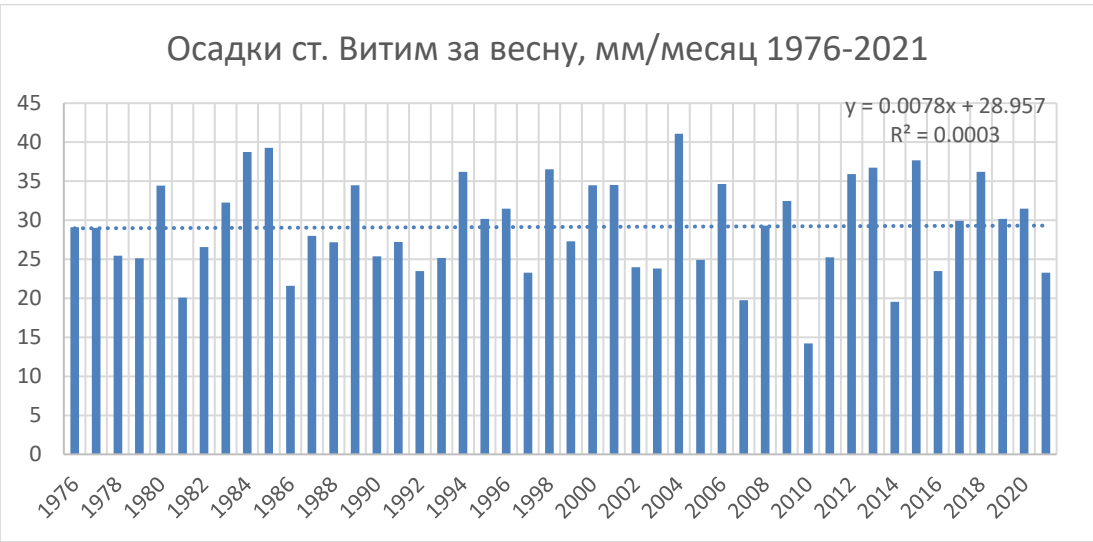


Отклонение от нормы ст. Перевоз в абсолютных значениях

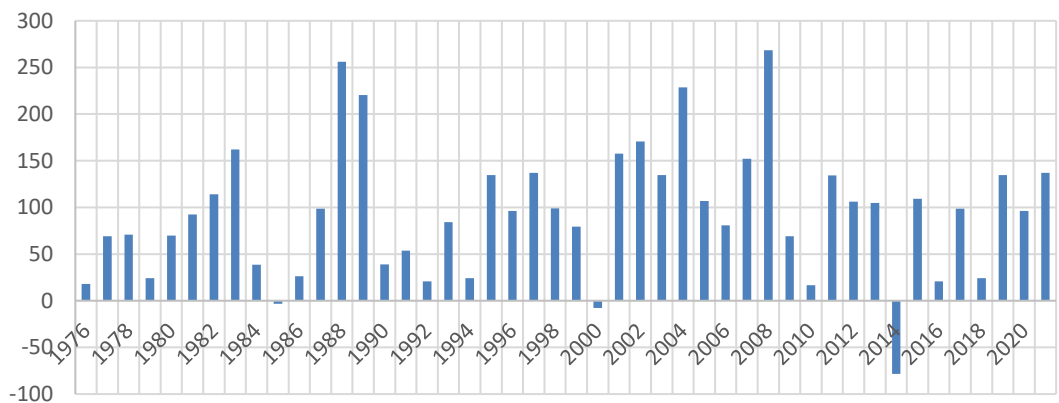




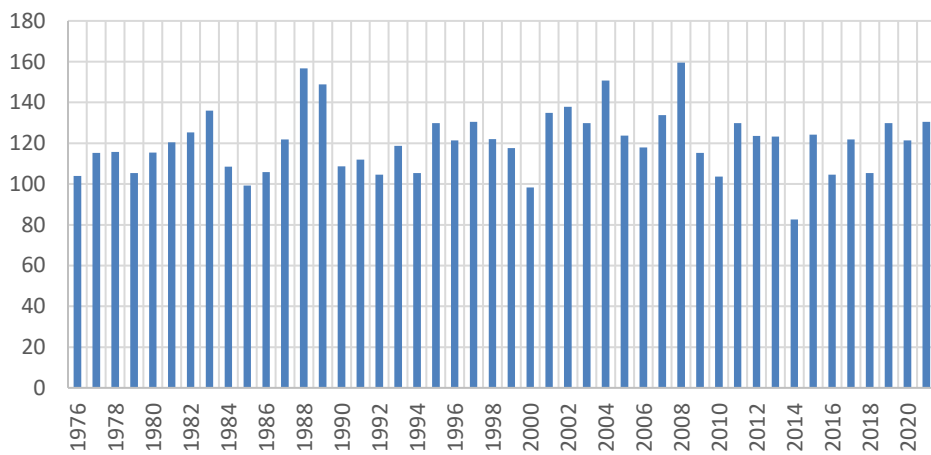




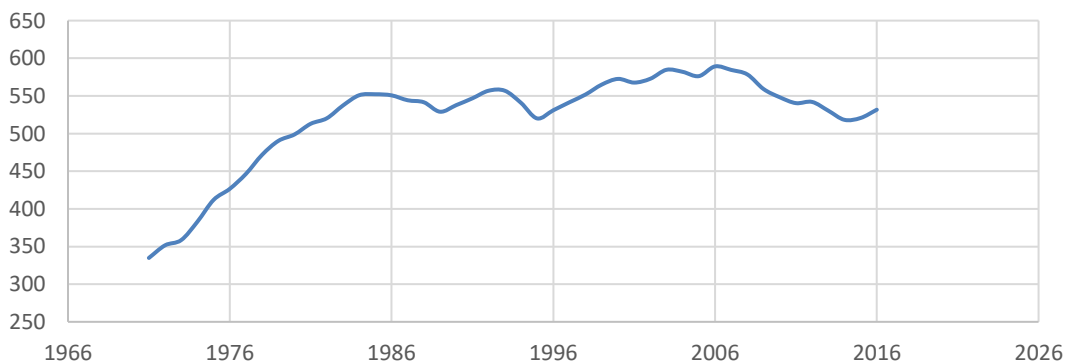
Отклонение от нормы в абсолютных значениях  
ст. Витим



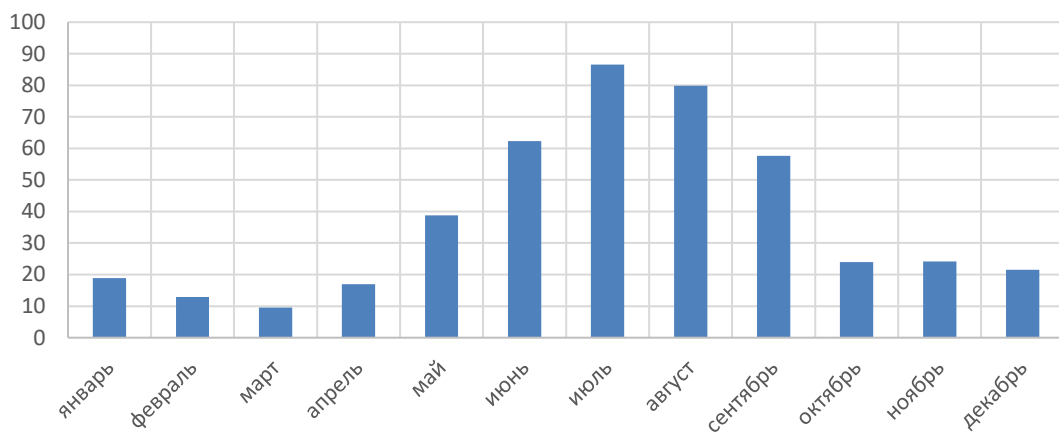
Отклонение от нормы в % ст. Витим



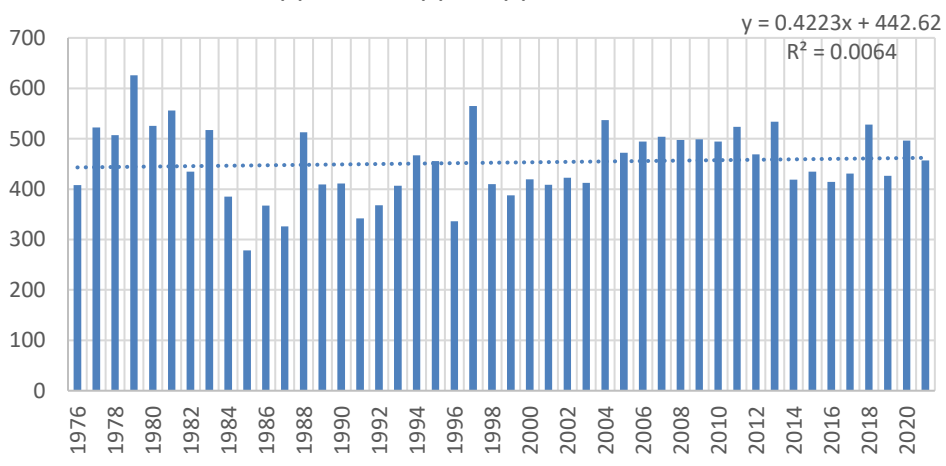
11-летняя средняя скользящая ст. Витим



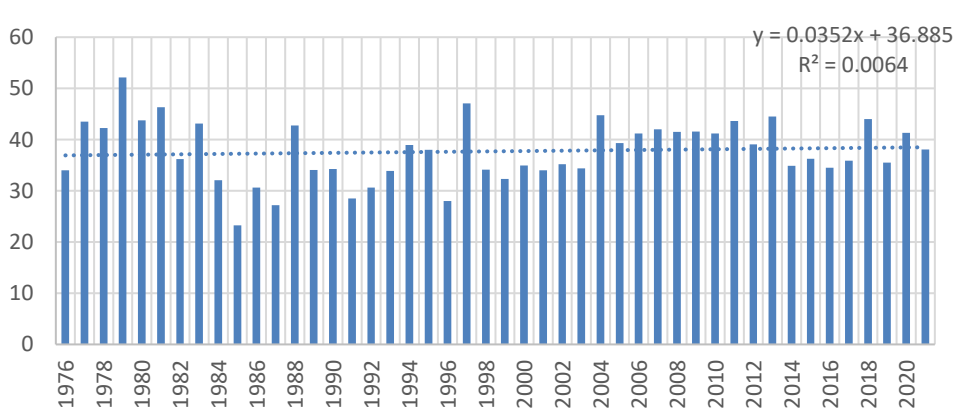
Внутригодовой ход осадков ст. Мамакан

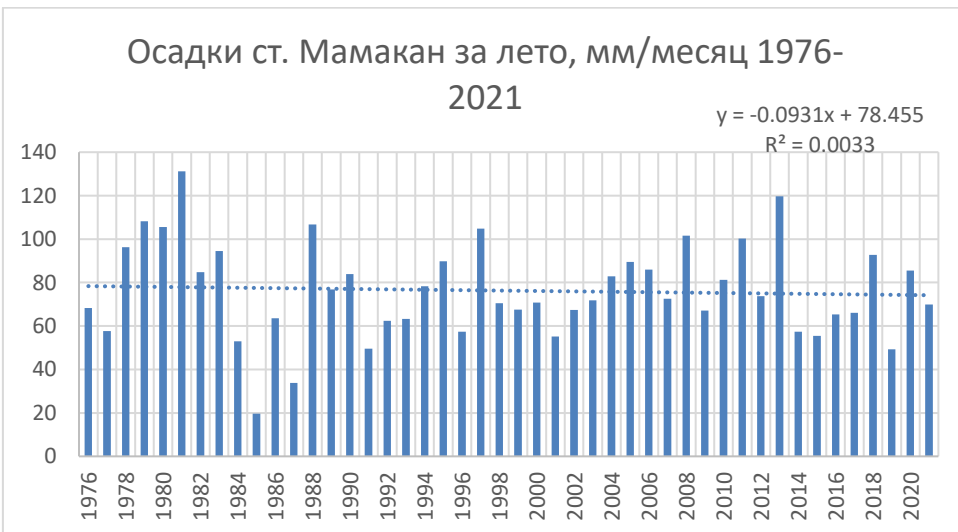
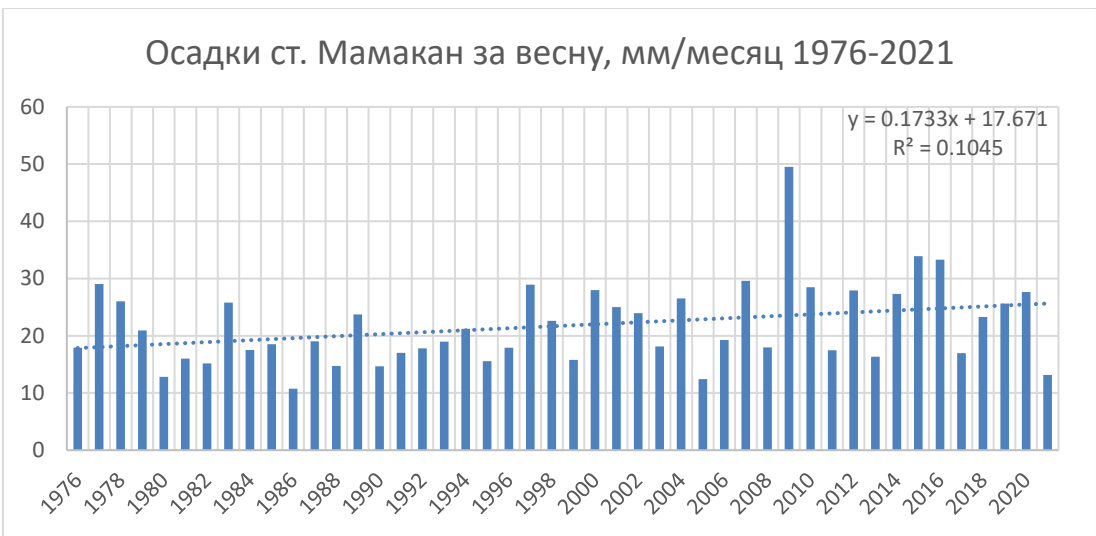
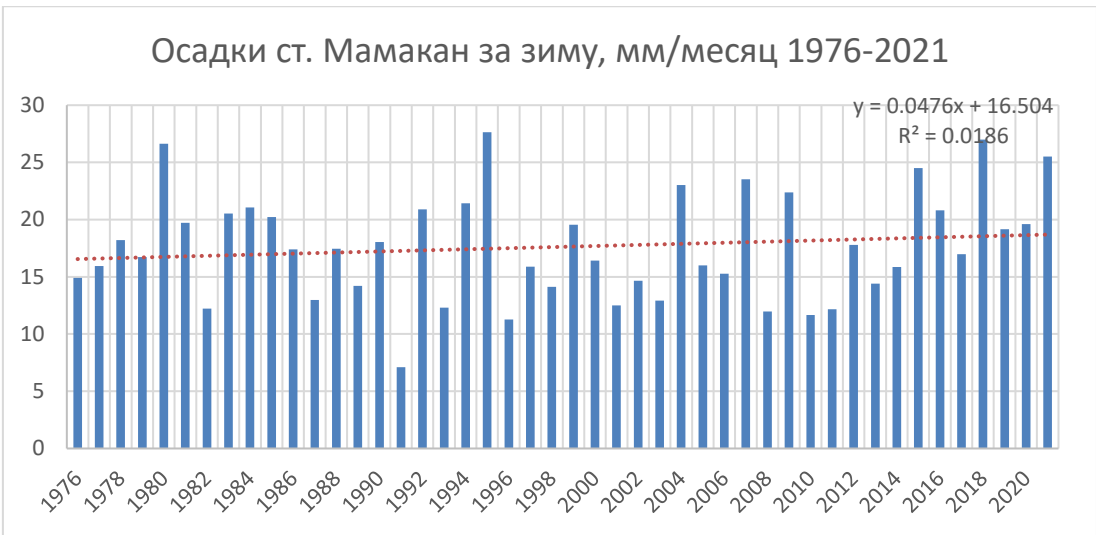


Межгодовой ход осадков ст. Мамакан



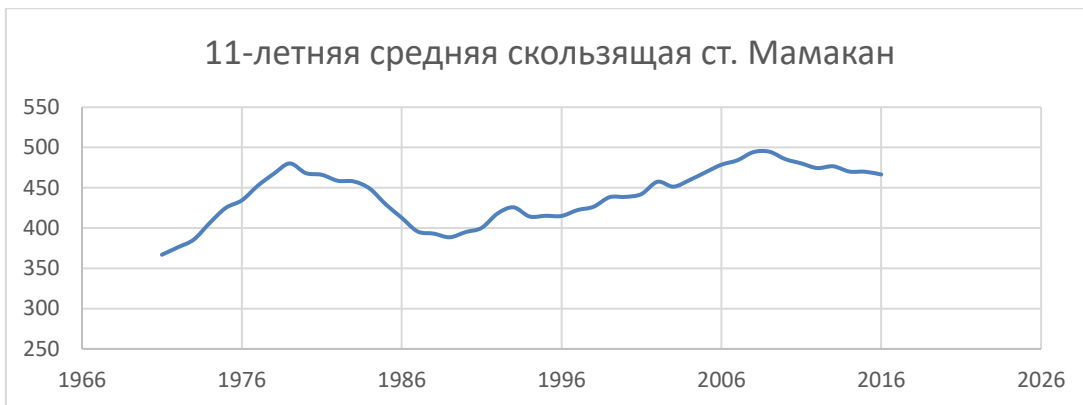
Межгодовой ход осадков ст. Мамакан  
мм/месяц





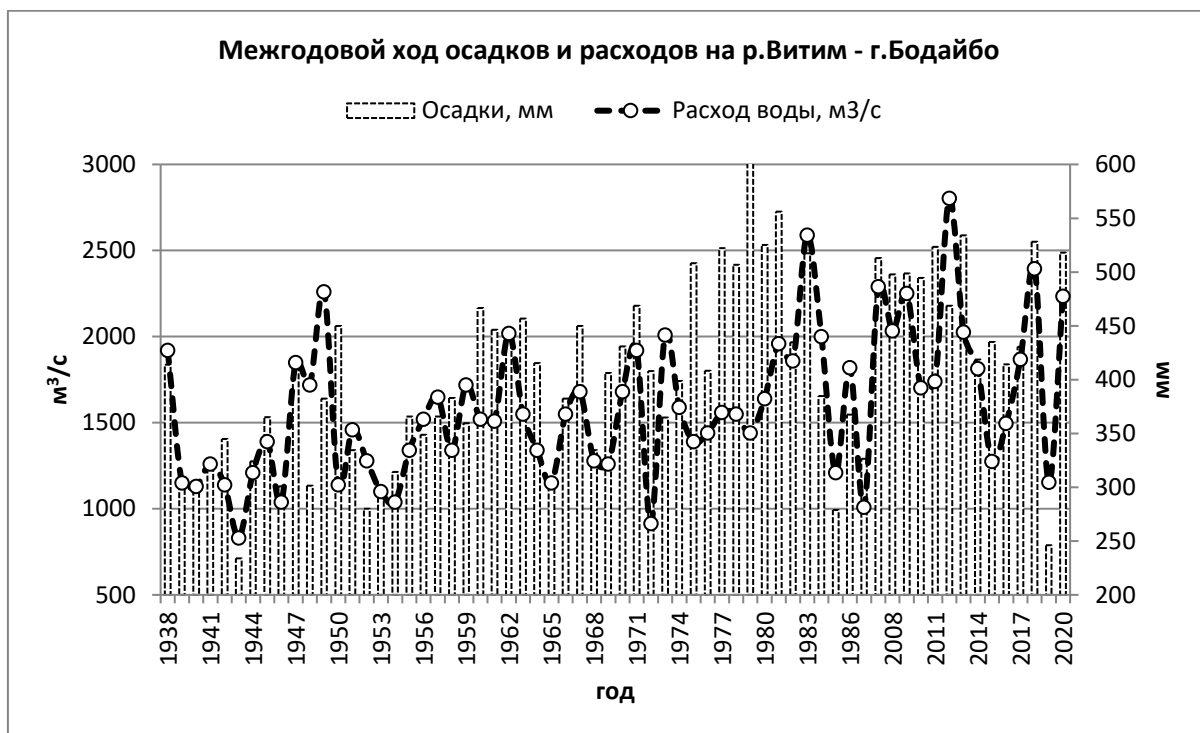




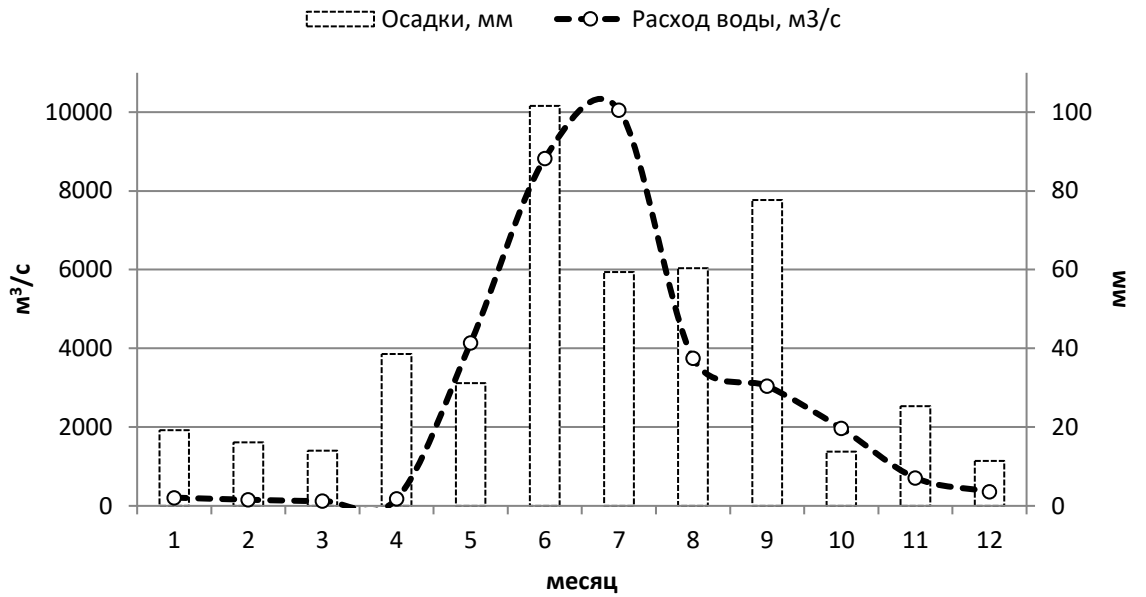


Приложение №4

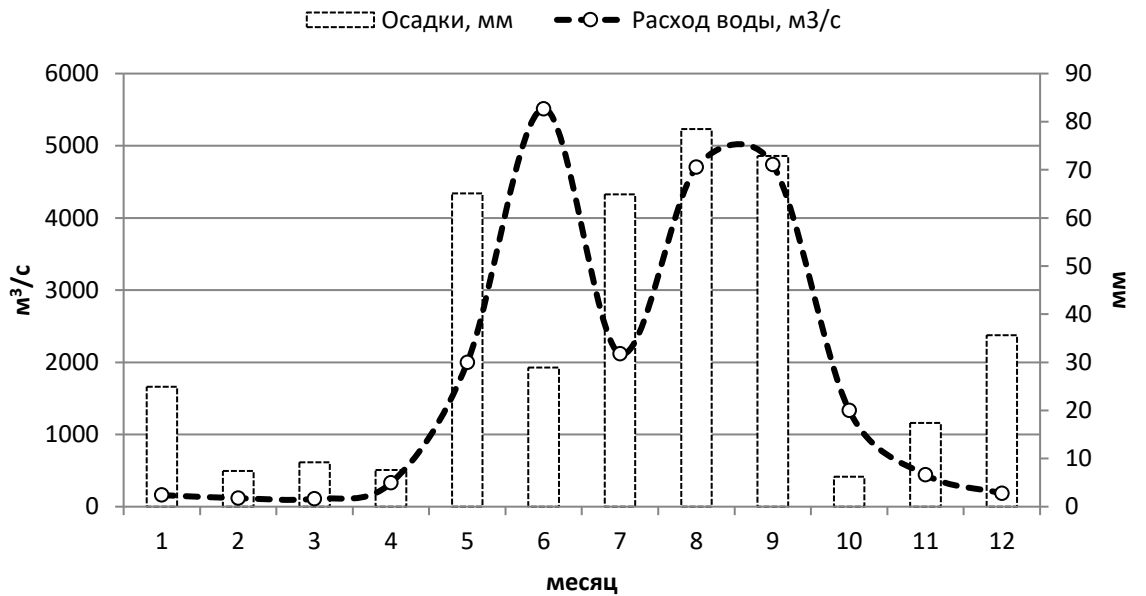
### Графики хода осадков и расходов

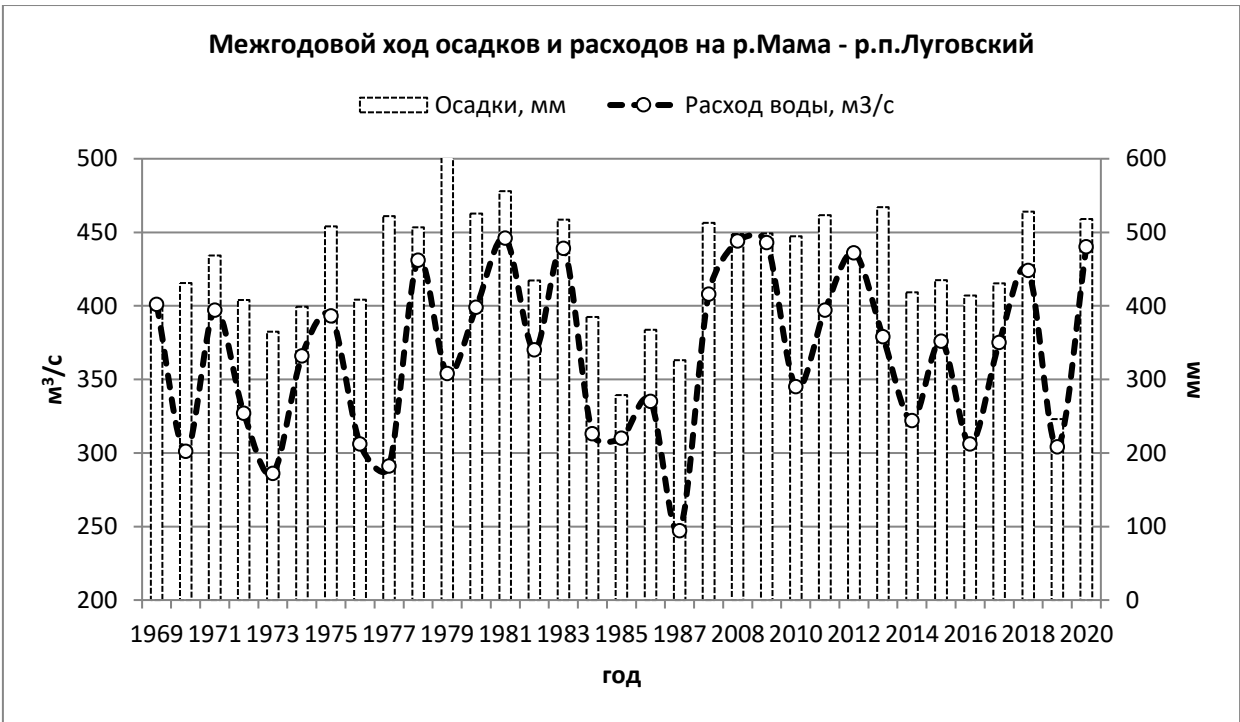
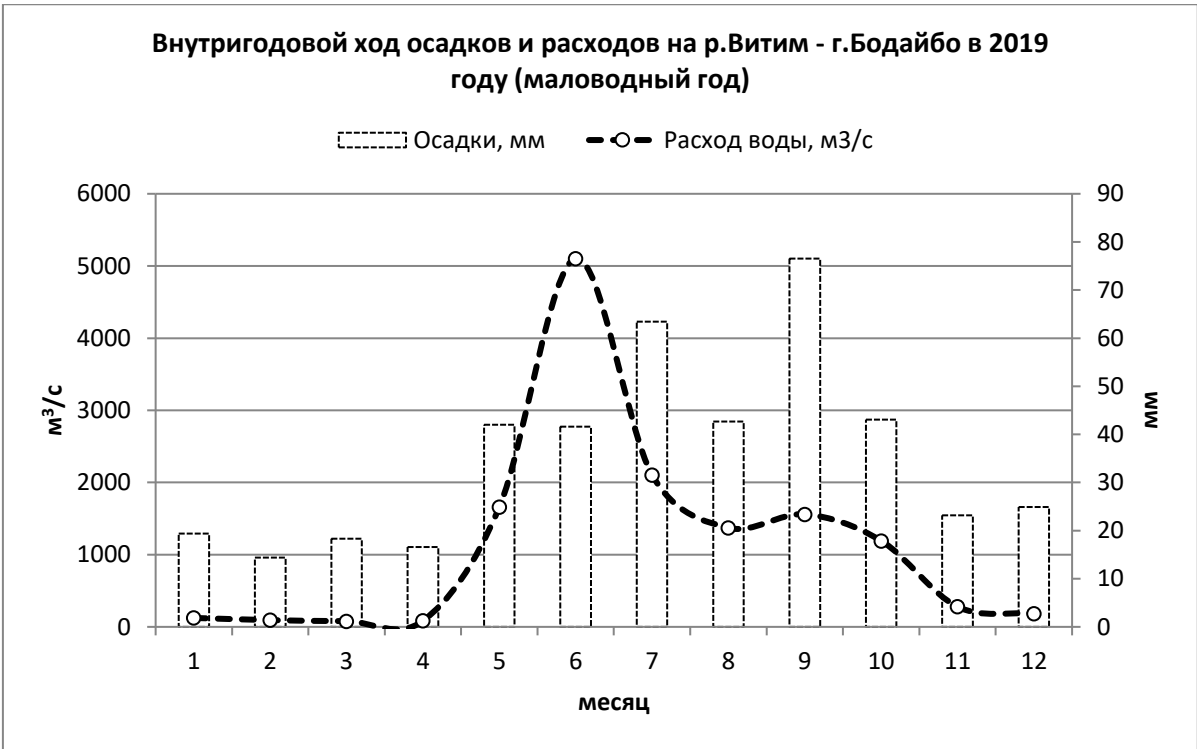


**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Витим - г.Бодайбо в 2012 году (многоводный год)**

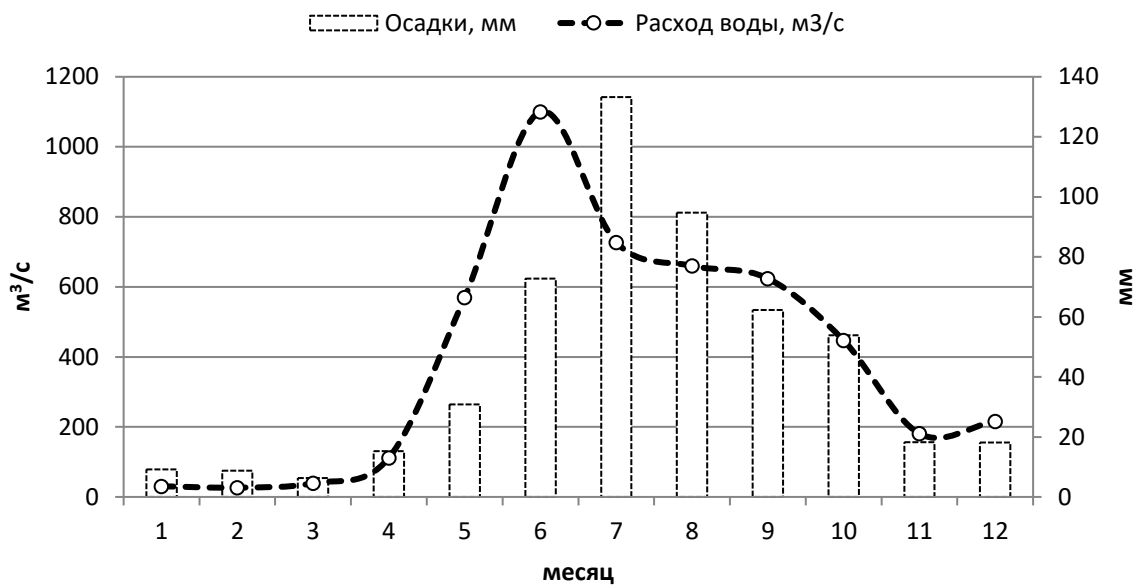


**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Витим - г.Бодайбо в 2014 году (средневодный год)**

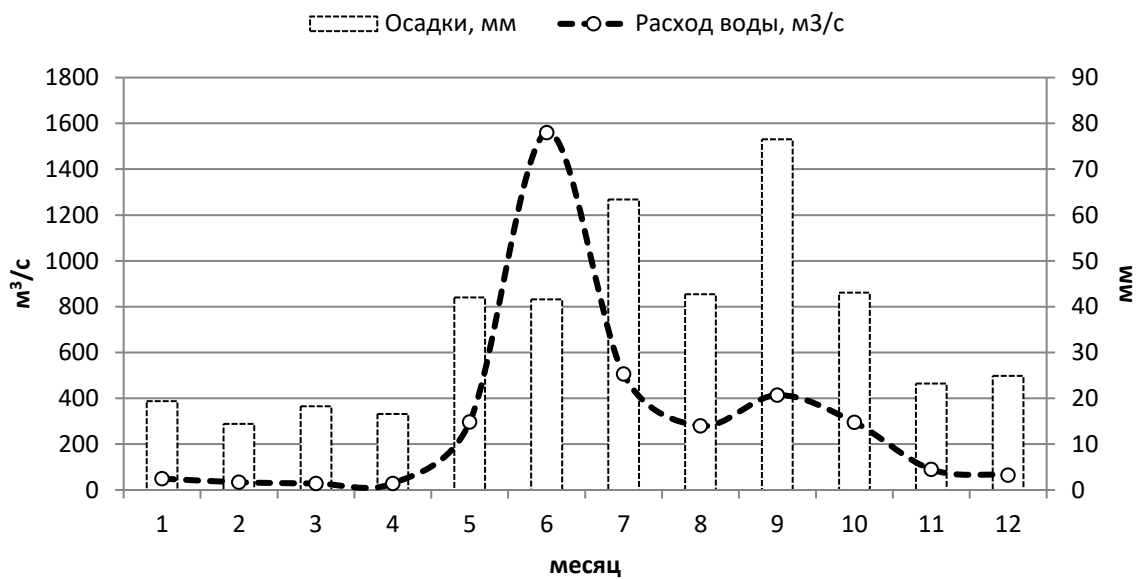




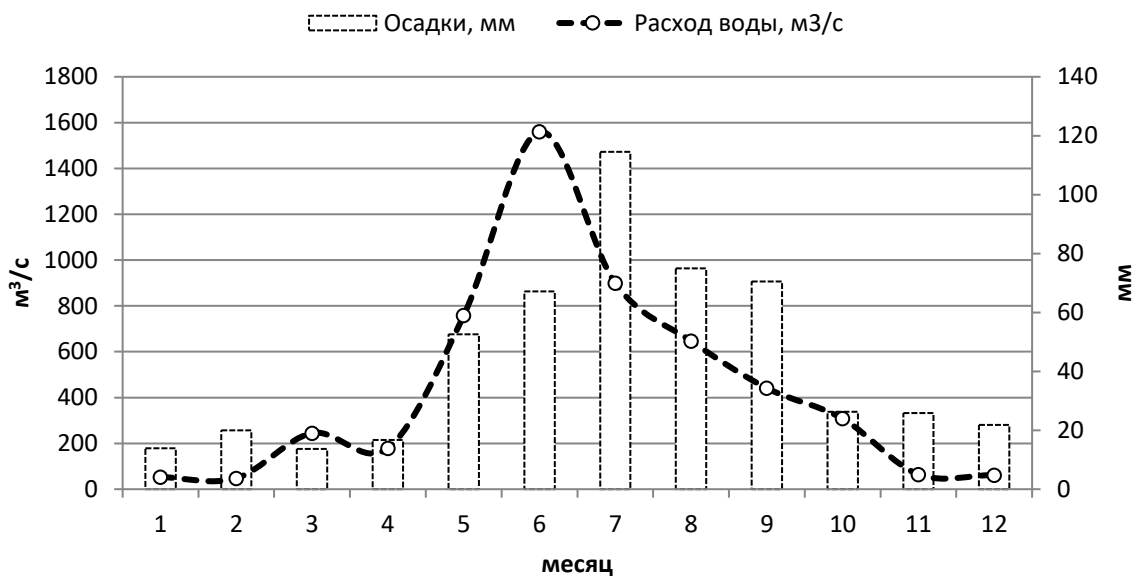
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Мама - р.п.Луговский в 2011 году (маловодный год)**



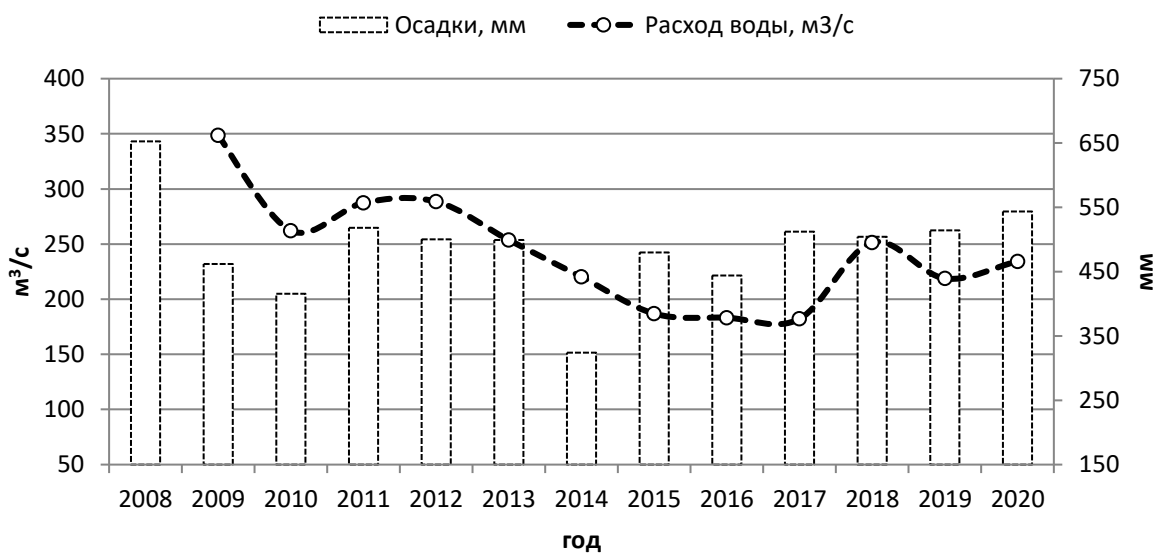
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Мама - р.п.Луговский в 2019 (средневодный год)**



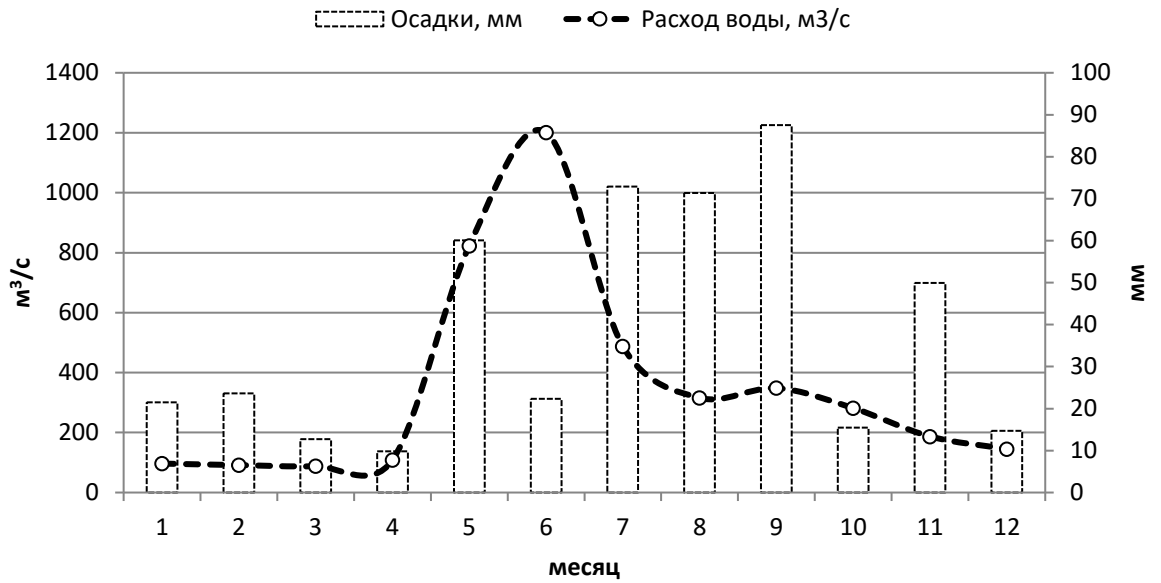
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Мама - р.п.Луговский в 2020 году (многоводный год)**



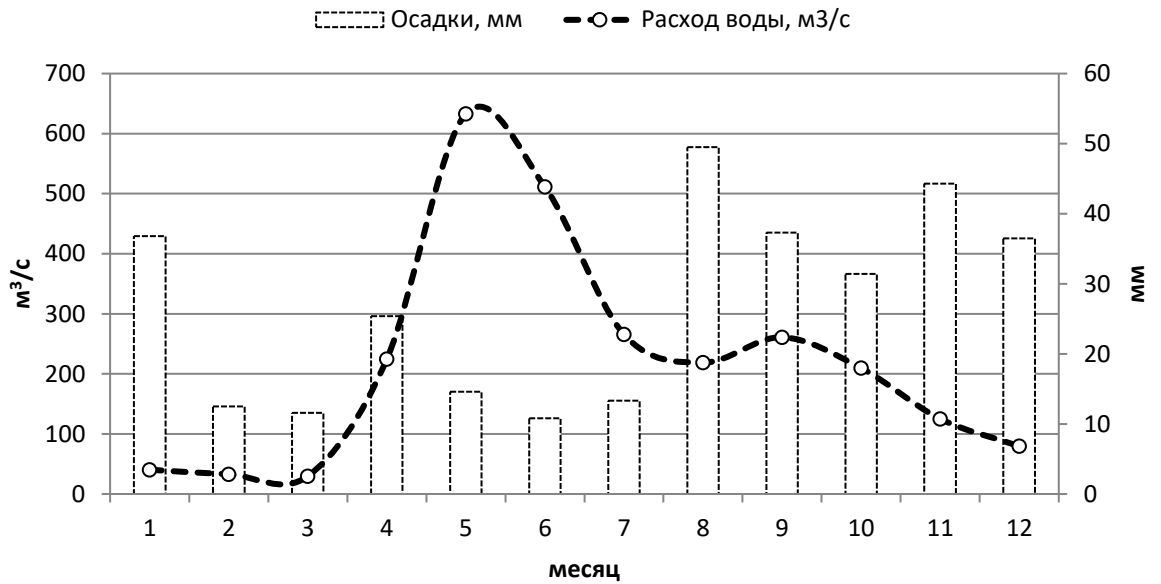
**Межгодовой ход осадков и расходов на р.Чуя - с.Чуя**



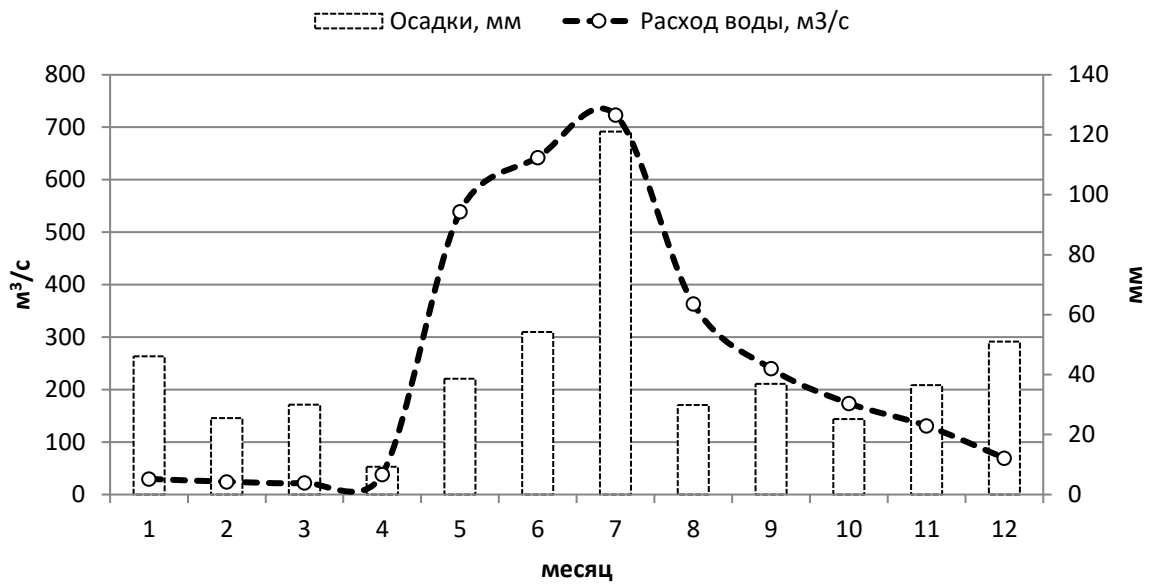
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чуя - с.Чуя в 2009 году  
(многоводный год)**



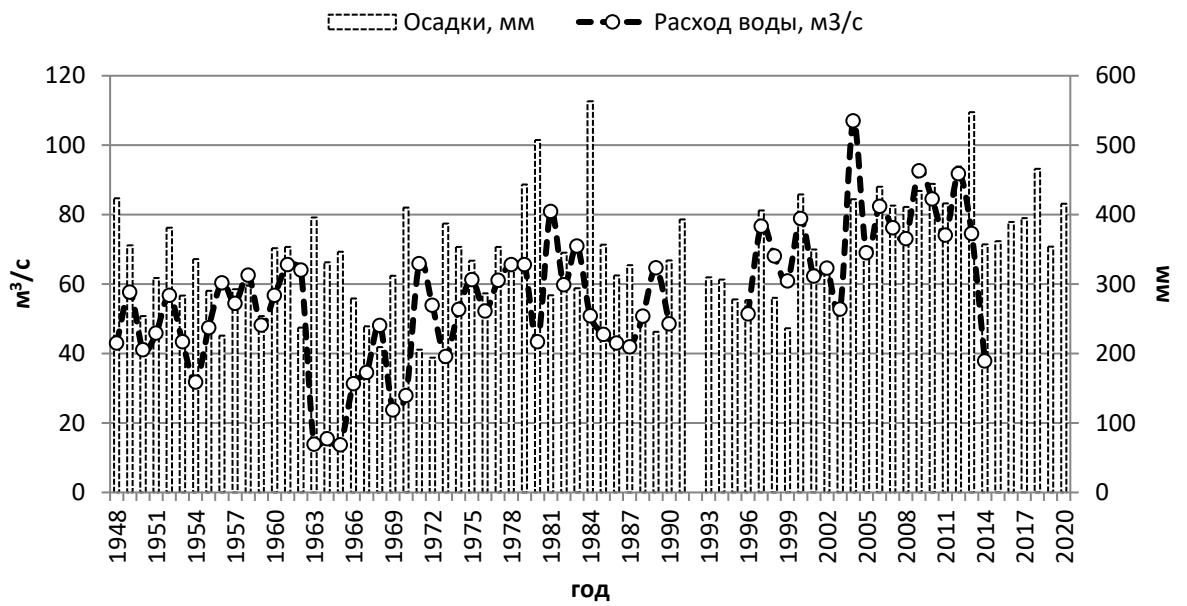
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чуя - с.Чуя в 2014 году  
(маловодный год)**



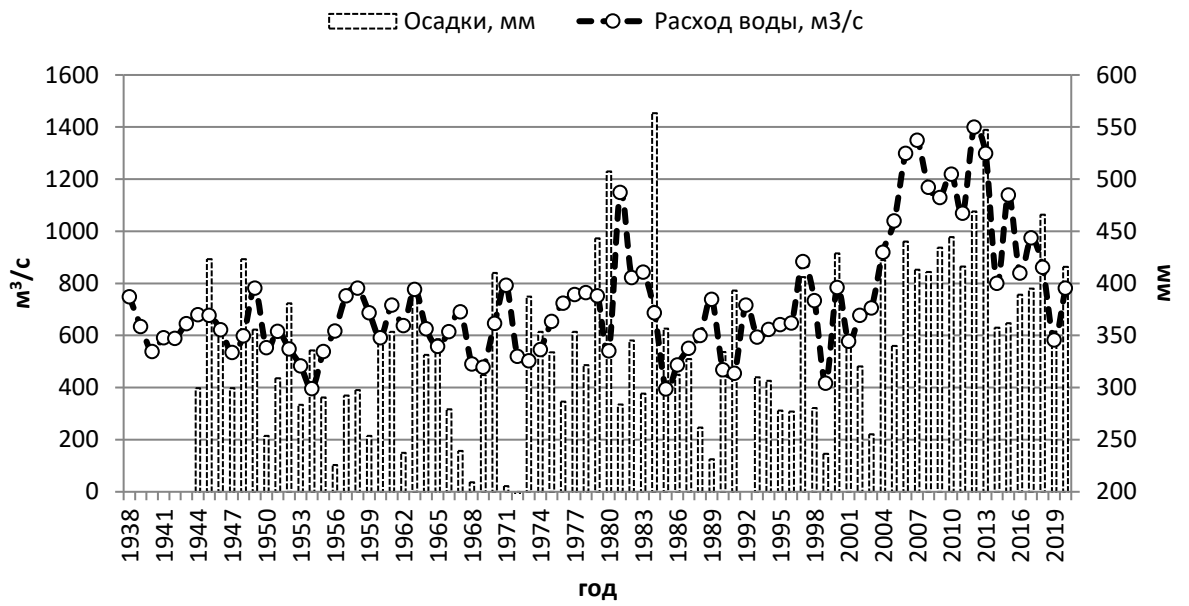
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чуя - с.Чуя в 2018 году  
(средневодный год)**



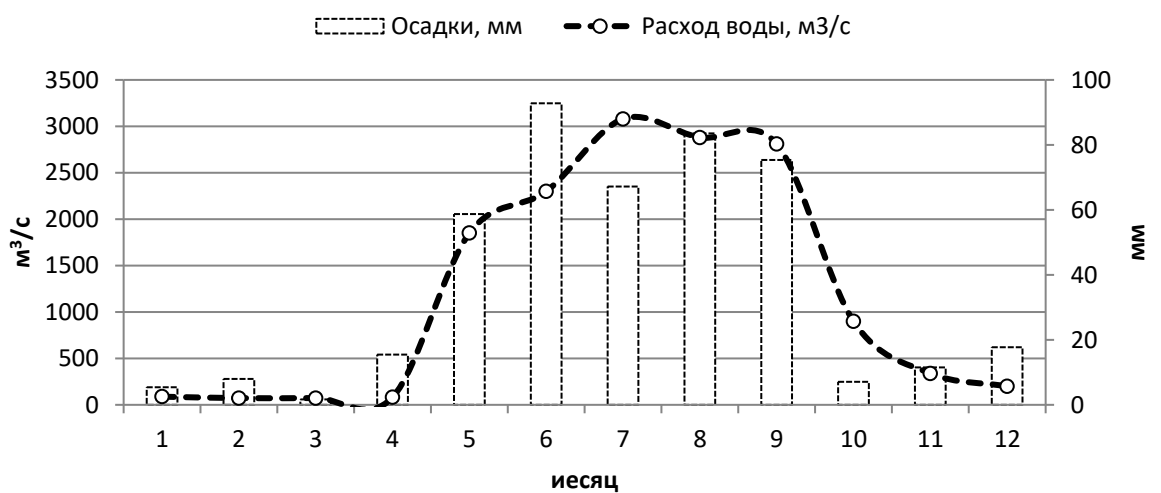
**Межгодовой ход осадков и расходов на р.Жуя - пос.Светлый**



### Межгодовой ход осадков и расходов на р.Чара - с.Токко

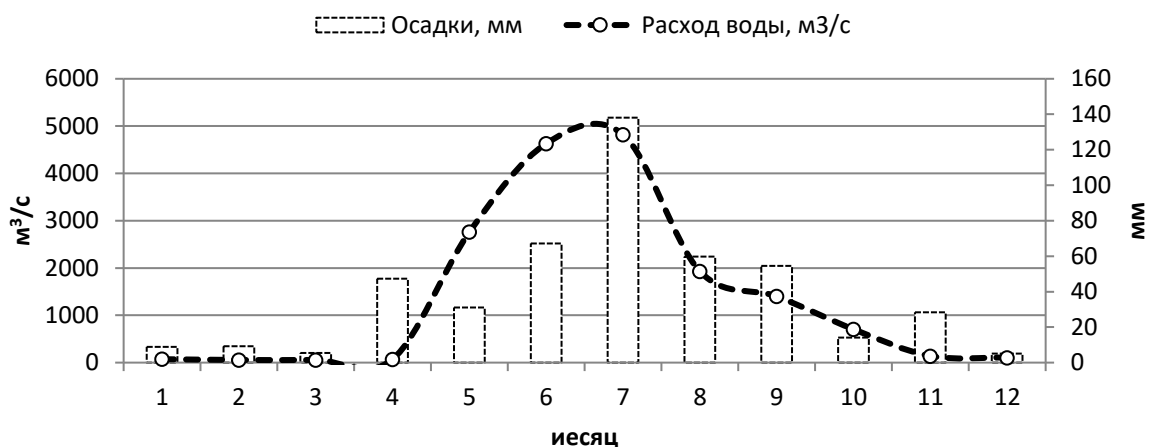


### Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чара - с.Токко в 2010 году (средневодный год)

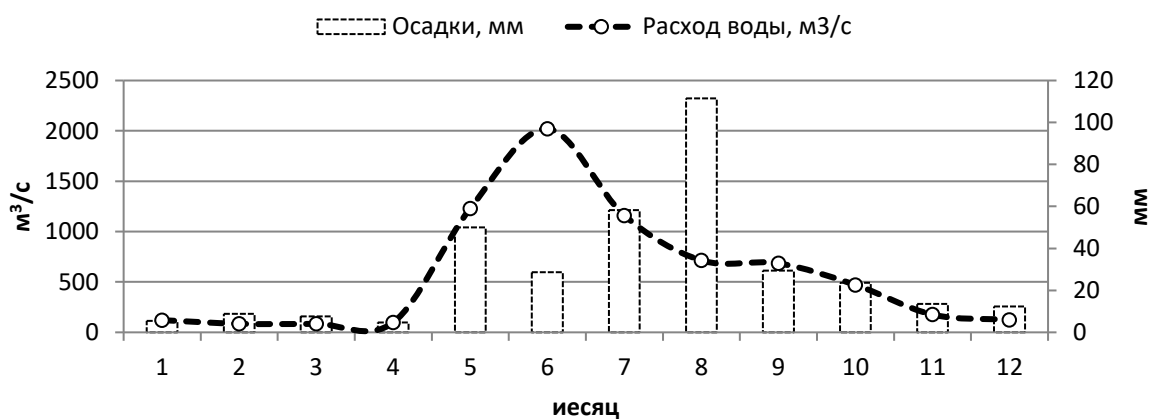


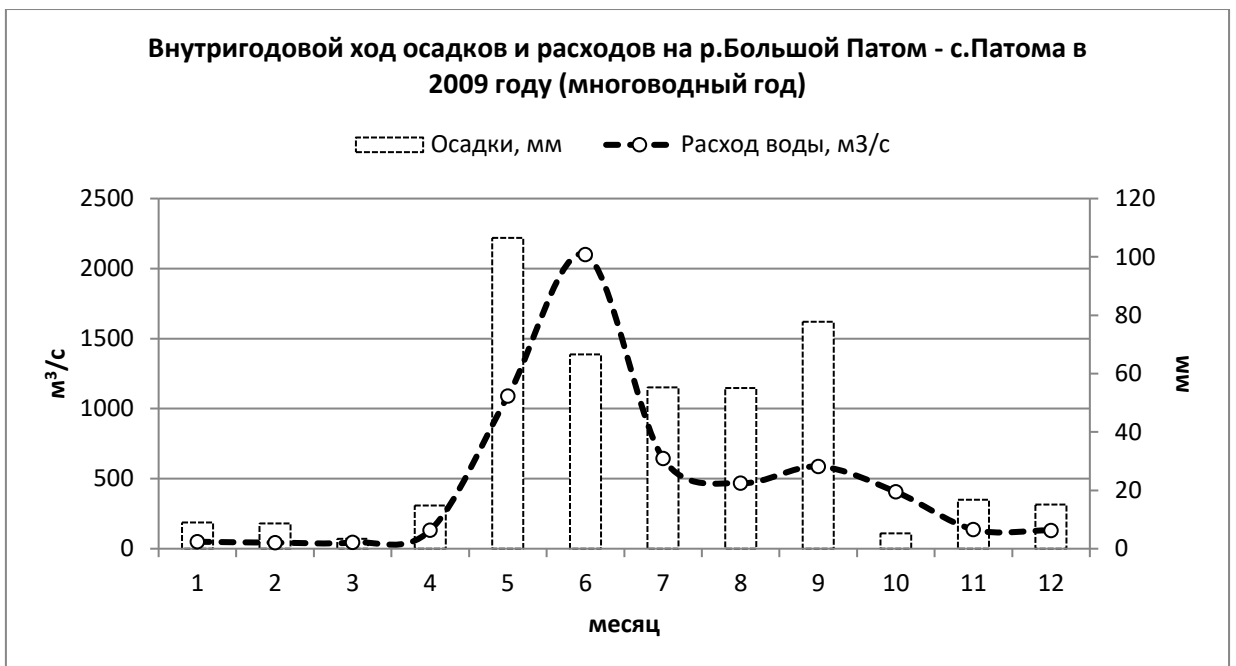
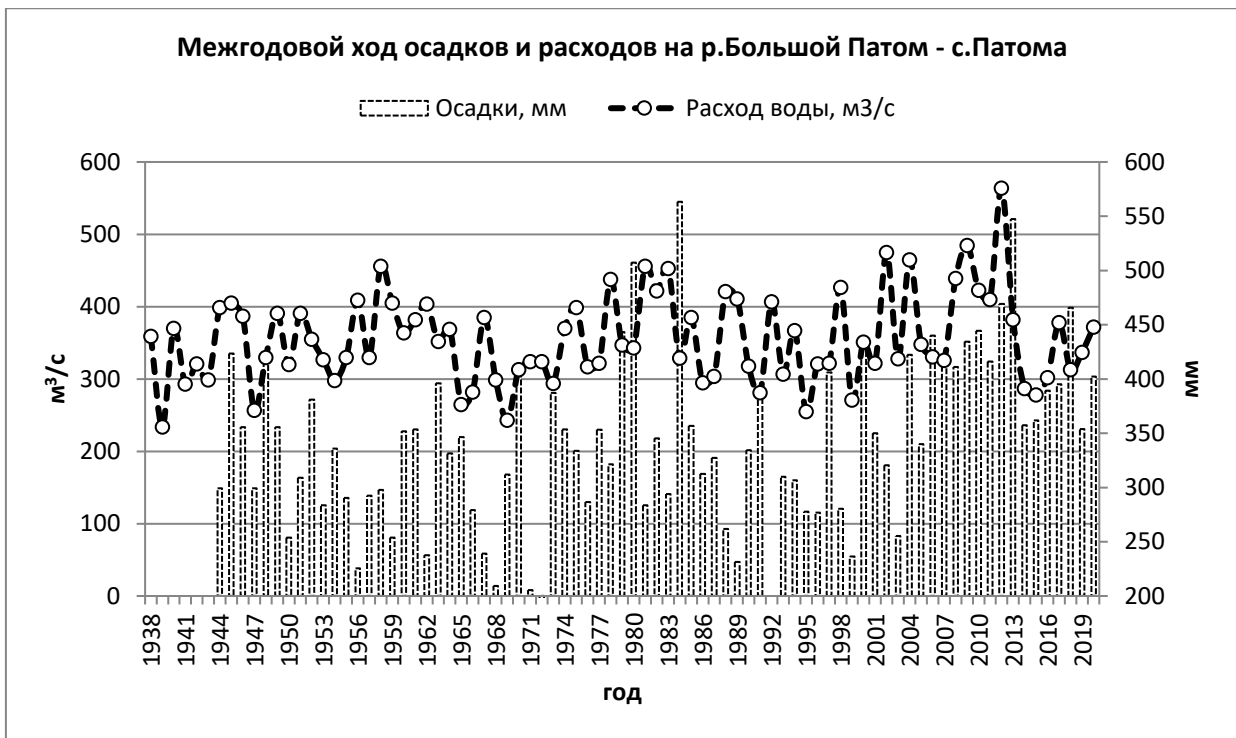


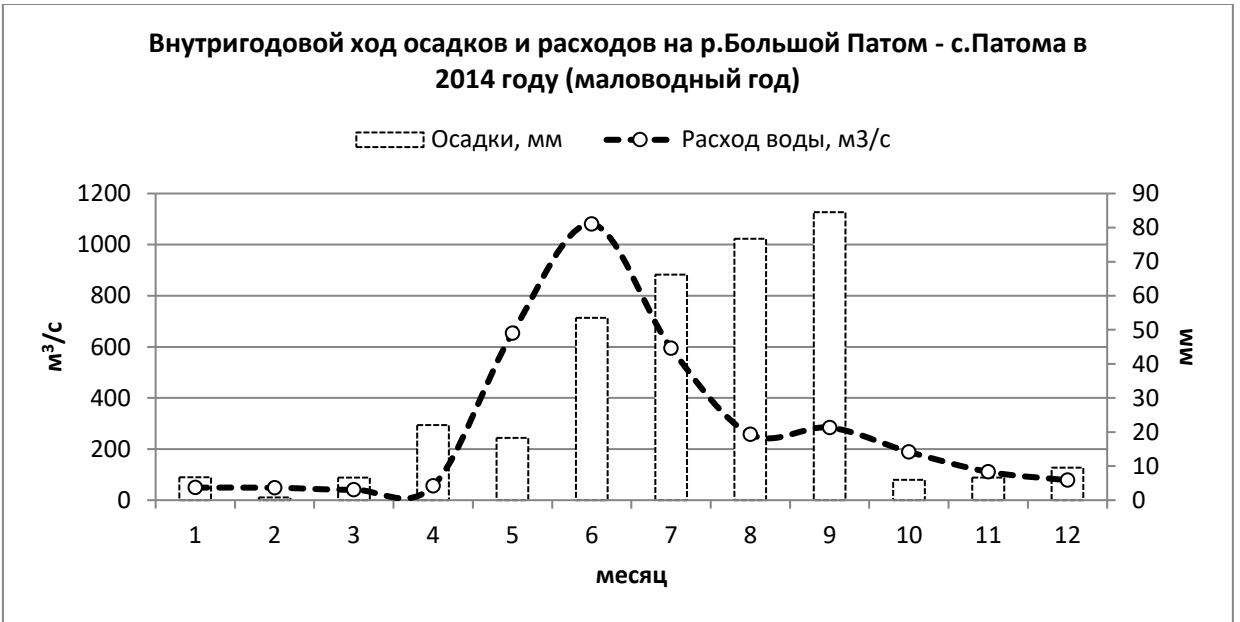
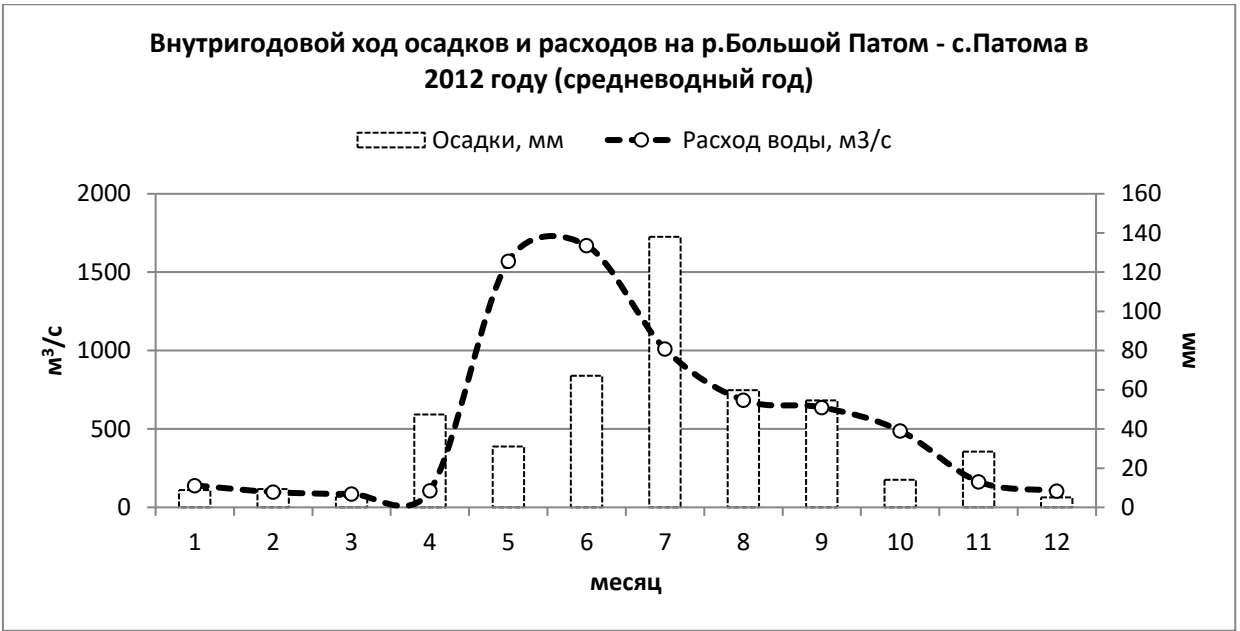
**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чара - с.Токко в 2012 году  
(многоводный год)**



**Внутригодовой ход осадков и расходов на р.Чара - с.Токко в 2019 году  
(маловодный год)**







Прогноз расходов при разных климатических сценариях

