



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Расчет максимального стока  
рек бассейна р. Клязьмы**

Исполнитель **Абросимова Екатерина Дмитриевна**

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **К.Г.Н., ДОЦЕНТ**

(ученая степень, ученое звание)

**Сикан Александр Владимирович**

(фамилия, имя, отчество)

Консультант

(ученая степень, ученое звание)

**Винокуров Игорь Олегович**

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

**К.Т.Н., ДОЦЕНТ**

(ученая степень, ученое звание)

**Хаустов Виталий Александрович**

(фамилия, имя, отчество)

« 6 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление	
Введение .....	3
1. Физико-географическая характеристика, гидрография и гидрометеорологическая изученность бассейна Бурейского водохранилища .....	5
1.1. Гидрография .....	5
1.2. Гидрометеорологическая изученность .....	6
1.3. Климат.....	6
1.4. Водный режим рек и основные характеристики речного стока ...	7
1.5. Ледовый режим рек и водохранилища .....	8
2. Основные характеристики водохранилища и правила его работы	
2.1. Основные сведения о проектировании, строительстве и назначении Бурейского гидроузла .....	9
2.2. Схема гидроузла, основные параметры водохранилища и ГЭС ...	11
2.3. Режимы регулирования стока и энергоотдачи .....	14
3. Хронологические закономерности притока воды в Бурейское водохранилище в зимний период	
3.1. Исходные данные и выделение зимнего сезона по режиму притока	
3.2. Особенности распределения во времени зимнего притока в водохранилище .....	17
3.3. Математическая аппроксимация гидрографа притока в водохранилище в зимний период .....	22
3.4. Исследование зависимости декадного и месячного объемов притока от величины начального расхода притока .....	37
Заключение .....	39
Список использованной литературы .....	40
Приложение А – Е.	

## Введение

В климатических условиях России наиболее энергозатратным периодом года является зимний сезон. Объемы зимнего притока и его распределение во времени в значительной степени определяют режим и величину выработки электроэнергии на гидроэлектростанции в лимитирующий по водобеспеченности и энергоотдачи зимний период.

Бурейское водохранилище и ГЭС имеют большое значение для энергетики Амурского региона и в том числе для обеспечения энергией космодрома Восточный. Полезный объем водохранилища и объем зимнего притока определяет суммарные энергозапасы водохранилища на зимний период, следовательно, общую выработку электроэнергии и минимальную гарантированную мощность, предоставляемую в энергосистему региона.

Главной целью проекта являлось выявление закономерностей изменения притока воды в Бурейское водохранилище в зимний период.

Были поставлены и решались задачи:

1. Сбор информации о расходах притока воды в Бурейское водохранилище в осенне-зимний период.
2. Выделение границ начала и окончания зимнего периода притока воды с привлечением данных температуры воздуха в осенне-зимне-весенний период.
3. Оценка объемов зимнего притока в водохранилище и выявление закономерностей изменения притока в зимний период.
4. Подбор математических моделей для аппроксимации процесса уменьшения притока воды в водохранилище в зимний период.
5. Оценка возможности прогнозирования притока в водохранилище в течение зимнего периода.

В первой главе подробно рассматриваются физико-географические особенности региона, растительность, рельеф и климат.

Во второй главе рассматриваются основные характеристики водохранилища и правила его работы, было обращению к документу правила использования Бурейского водохранилища.

Главные исследования проводились в главе 3: выделение зимнего периода на основании гидрографов и данных о температурах, составление математической аппроксимации гидрографа притока в водохранилище в зимний период и исследование зависимости декадного и месячного объемов притока от величины начального расхода притока.

# 1. Физико-географическая характеристика, гидрография и гидрометеорологическая изученность бассейна Бурейского водохранилища

## 1.1 Гидрография

Река Буряя – река, протекающая на Дальнем Востоке России и являющаяся левым притоком Амура. Имеет длину 625 км, а площадь водосбора – 70700 км. Буряя образуется слиянием двух рек – Правой илевой Бурейи.

На водосборе реки более 1500 озер, общая площадь которых более 51 км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды – 900 м<sup>3</sup>/с. Так как Буряя в верхнем течении является горной рекой, расходы воды в паводки доходят до 18 100 м<sup>3</sup>/с.

Притоков у Бурейи немного: Тьрма (в 270 км от устья Бурейи), Туюн (в 370 км от устья Бурейи), Ургал (в 410 км от устья Бурейи) и Ниман (в 460 км от устья).



Рисунок 1.1 – исток и устье реки Буряя на карте



Рисунок 1.2 – исток и устье реки Бурея на карте в увеличенном масштабе.

## 1.2 Гидрометеорологическая изученность

На реке Бурея, вблизи водохранилища расположен немало постов за гидро- и метеонаблюдениями.

Также на реке Бурея построен каскад ГЭС: Бурейская ГЭС (Бурейское водохранилище) и Нижнебурейская ГЭС (Нижнебурейское водохранилище).

## 1.3 Климат

Основной климатической особенностью данного края являются муссонные дожди летом и осенью, т.е. проявления резко континентального климата.

Зима суровая и малоснежная, в среднем температура -- 32 °С. А лето теплое только в июле, когда температура может достичь даже +40 °С.

## 1.4 Водный режим рек и основные характеристики речного стока

На формирование водного режима реки Бурья оказывает влияние муссонный климат, который характерен для данного региона. Для Бурьи характерен многопиковый режим в половодье и паводки в теплое время года и длинная маловодная межень (рисунок 1.3). В весенний период проходит около 30% годового стока, в летне-осенний - от 50 до 65%, в зимний - 5 - 10%.

Начало половодья приходится на середину апреля, и даже еще в начале мая продолжается ледоход, который сопровождается заторами. Также на расходы половодья еще накладываются дождевые паводки, длительность которых в среднем 150 дней. Самые значительные паводки наблюдаются в июле и августе, и их расходы превышают максимумы расходов в весеннее половодье.

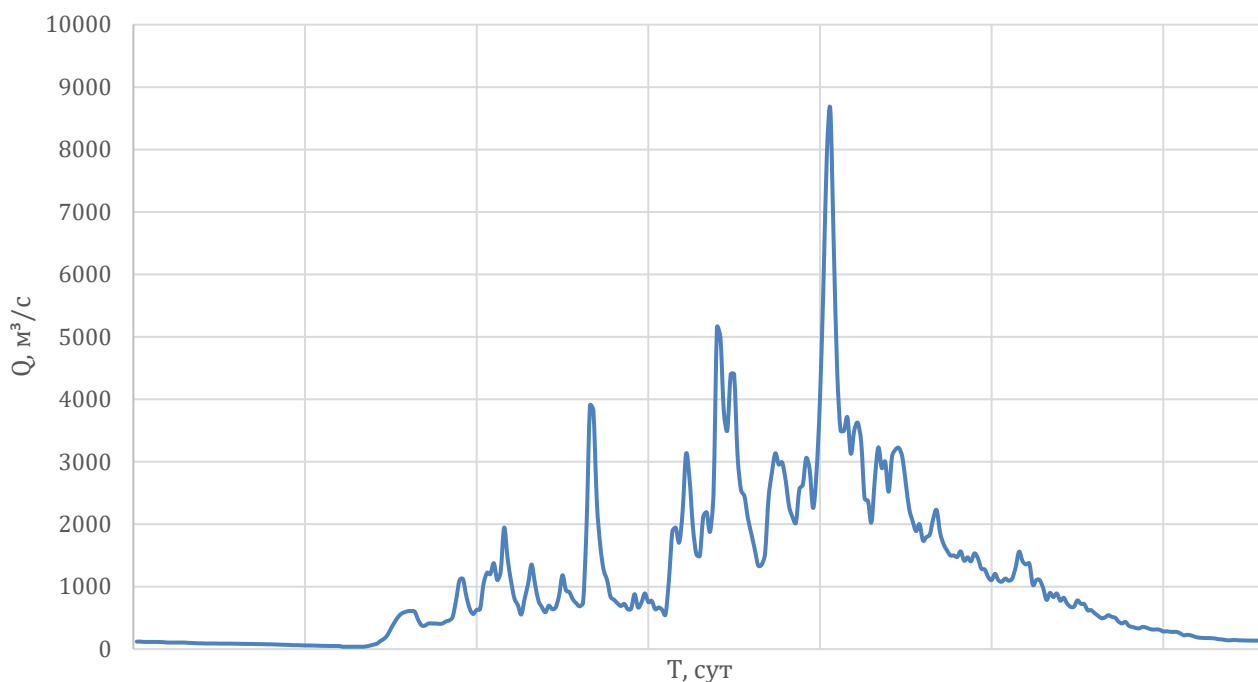


Рисунок 1.3 – Гидрограф-пример

## 1.5 Ледовый режим рек и водохранилища

Начало зимнего режима реки и водохранилища приходится на октябрь-ноябрь, когда температура воздуха становится намного холоднее. Толщина ледяного покрова нарастает и достигает почти 150 см. Вскрытие льда и начало половодья обычно приходится на начало мая.



## 2 Основные характеристики водохранилища и правила его работы

### 2.1 Основные сведения о проектировании, строительстве и назначении Бурейского гидроузла

Бурейская гидроэлектростанция находится на реке Бурей вблизи поселка Талакан. Является крупнейшей электростанцией на Дальнем Востоке России, имея мощность 2000 МВт. Водохранилище ГЭС находится на территории Амурской области и Хабаровского края. Также это водохранилище является первой ступенью каскада гидроэлектростанций на реке Бурей.



Рисунок 2.1 – Вид на Бурейскую ГЭС

«Начальный этап строительства пришелся на 1976-1988 годы, включавший в себя сооружение дорог, линий электропередачи, жилья и базы строительства. Работы по строительству основных сооружений Бурейской ГЭС были начаты 1984 года с отсыпки перемычек правобережного котлована первой очереди. В период с 1984 по 1988 год строительство велось в соответствии с проектным графиком, но с 1989 года в связи с экономическими трудностями в стране

финансирование строительства резко сокращается.

Основной период строительства пришелся на 1999-2007 годы. С 1999 года финансирование строительства Бурейской ГЭС стало резко возрастать, в связи с чем строительные работы активизировались. В январе 2000 года было осуществлено перекрытие Буреи, в июле того же года в сооружения ГЭС был уложен миллионный кубометр бетона.

После пуска последних гидроагрегатов Бурейская ГЭС вступила в стадию завершения строительства. В 2007 году гидроагрегаты № 1 и № 2 были остановлены для замены сменных рабочих колёс на штатные и наращивания водоводов. После завершения этих работ, в 2008 году состоялись пуски первого и второго гидроагрегатов на штатных рабочих колёсах. Бурейская ГЭС достигла проектной мощности. Водоохранилище Бурейской ГЭС было впервые заполнено до проектной отметки летом 2009 года. Полностью Строительство было завершено в 2014 году» [1]

«Запуск первых двух гидроагрегатов Бурейской ГЭС позволил снять напряженность в формировании балансов электроэнергии, сократить зависимость энергосистем Дальнего Востока от привозного органического топлива и повысить экономию затрат на производство электроэнергии. Только за 8 месяцев 2004 г. Бурейская ГЭС выработала 1,1 млрд. кВт/ч электроэнергии, что позволило обеспечить прирост энергопотребления в энергозоне Дальнего Востока на 939,8 млн. кВт. Поэтому обоснованно можно сказать, что энергетический кризис Приморью больше не грозит. По итогам 2004 года производство электроэнергии на Бурейской ГЭС позволит сэкономить свыше 1,75 млн. т угля, а после выхода электростанции на полную мощность – ежегодно 5,2 млн. т угля. Годовой эффект от снижения затрат на закупку дальнепривозных углей в 2004 году составит свыше 1,3 млрд. руб., а с 2007 года превысит 4,7 млрд. руб. ежегодно. Следует отметить, что эффект от строительства станции куда шире сферы чистой экономики. До недавнего времени тарифы на электричество для

населения Дальнего Востока были одними из самых высоких в стране. С пуском первых гидроагрегатов Бурейской ГЭС рост тарифов стабилизировался и в целом по региону снизился на 2.09%» [2]

## 2.2 Схема гидроузла, основные параметры водохранилища и ГЭС

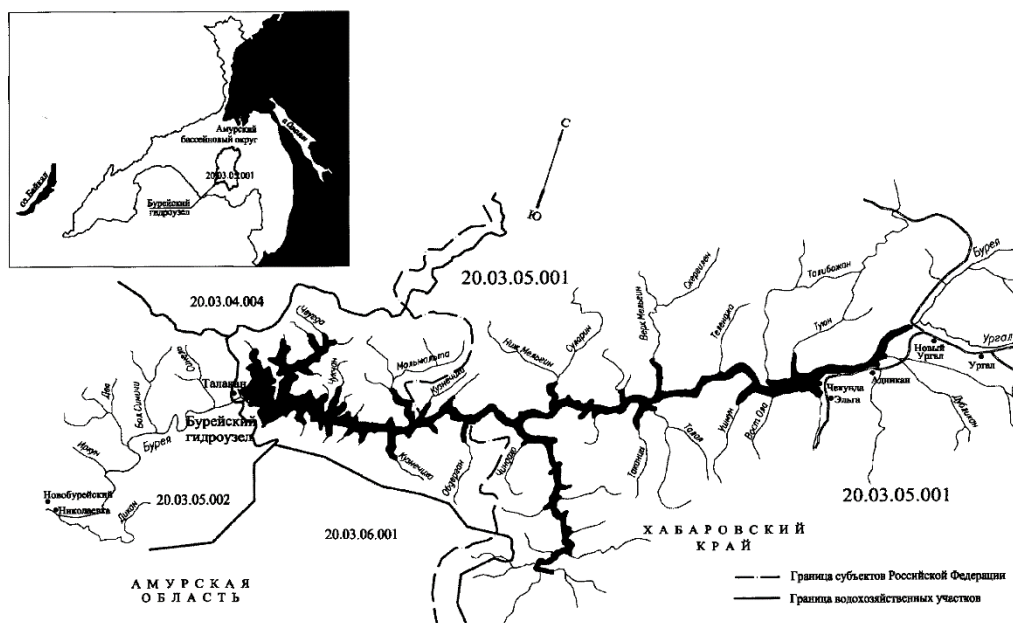


Рисунок 2.2 – карта-схема расположения Бурейского гидроузла и водохранилища

Бурейский гидроузел расположен на р. Бурея в 175 км от устья, в 5 км вниз по течению от устья р. Талакан и 1,5 км на юго-восток от поселка Талакан. Бурейское водохранилище расположено в пределах Хабаровского края и Амурской области, образовано гидроузлом, состоящим из бетонной гравитационной плотины на скальном основании с поверхностным водосбросом и приплотинным зданием ГЭС, расположенным со стороны правого берега.

Состав гидроузла:

Бетонная плотина. Гравитационная плотина на скальном основании с максимальной высотой 139 м, отметкой гребня 265 м, общей длиной по гребню 789 м. Состоит из 49 секций и включает четыре части: -

правобережную глухую длиной 270 м; стационарную длиной 144 м; водосбросную длиной 180 м; левобережную глухую длиной 195 м.

Водосброс. Эксплуатационный водосброс содержит 8 пролетов поверхностного водосброса шириной по 12 м каждый, с отметкой порога 243 м. Для уменьшения удельных расходов в нижнем бьефе работа водосброса принята по схеме "истечение из-под щита", то есть при приточности, превышающей пропускную способность ГЭС, и повышении уровня водохранилища выше НПУ все затворы водосброса последовательно поднимаются на 3 м, 6 м и 8 м и закрепляются на подхватывающие. При остановке роста уровня воды дальнейшее открытие затворов прекращается, при снижении уровня - затворы закрываются. Водосброс оборудован основными плоскими колесными затворами размером 12,0x14,6x14,6 м и аварийно-ремонтными плоскими затворами размером 12,0x14,6x13,2 м, обслуживаемыми двумя козловыми кранами грузоподъемностью 250 тс, расположенными на гребне плотины. Подъем затворов осуществляется при необходимости открытия пролетов для сброса воды из водохранилища и для ремонта затворов. При подъеме основного затвора для ремонта в пролете предварительно должен быть установлен аварийно-ремонтный затвор. Гасителей энергии нет. Сопряжение с нижним бьефом осуществляется отбросом струи с носка-трамплина.

Водоприемники ГЭС. Водоприемники ГЭС глубинного типа (шесть штук) расположены в стационарной части плотины, отметка порога 216 м. Оборудованы сороудерживающими решетками, ремонтными и аварийно-ремонтными затворами.

Здание ГЭС. Здание ГЭС приплотинного типа расположено со стороны правого берега и оборудовано гидроагрегатами единичной мощности 335 МВт.

Судопропускные, рыбозащитные и рыбопропускные сооружения техническим проектом не предусмотрены.



Рисунок 2.3 – Вид на Бурейскую ГЭС в процессе работы.

Характеристики водохранилища:

Протяженность водохранилища - 234 км, ширина — до 5 км. Площадь зеркала при НПУ 740 км<sup>2</sup>, при УМО – 370 км<sup>2</sup>, при ФПУ – 958 км<sup>2</sup>. Полный объем водохранилища 20,942 км<sup>3</sup>, полезный - 10,697 км<sup>3</sup>. Высота над уровнем моря – 249 м.

Характерные подпорные уровни воды:

Нормальный подпорный уровень (НПУ) - 256

Минимальный допустимый уровень (уровень мертвого объема) (далее - УМО) – 236 м.

Форсированный подпорный уровень (далее - ФПУ) – 263 м [3]



Рисунок 2.4 – Бурейское водохранилище

### 2.3 Режимы регулирования стока и энергоотдачи

Бурейское водохранилище относится к русловому типу, его полезный объем позволяет осуществлять сезонное, недельное и суточное регулирование стока р. Бурей. Бурейское водохранилище имеет комплексное назначение. Согласно Техническому проекту его водные ресурсы используются для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения населенных пунктов, рекреации. Кроме этого, Бурейское водохранилище решает важную для Дальневосточного региона социально-экономическую задачу - борьбы с наводнениями в долинах рек Буреи и Амура.

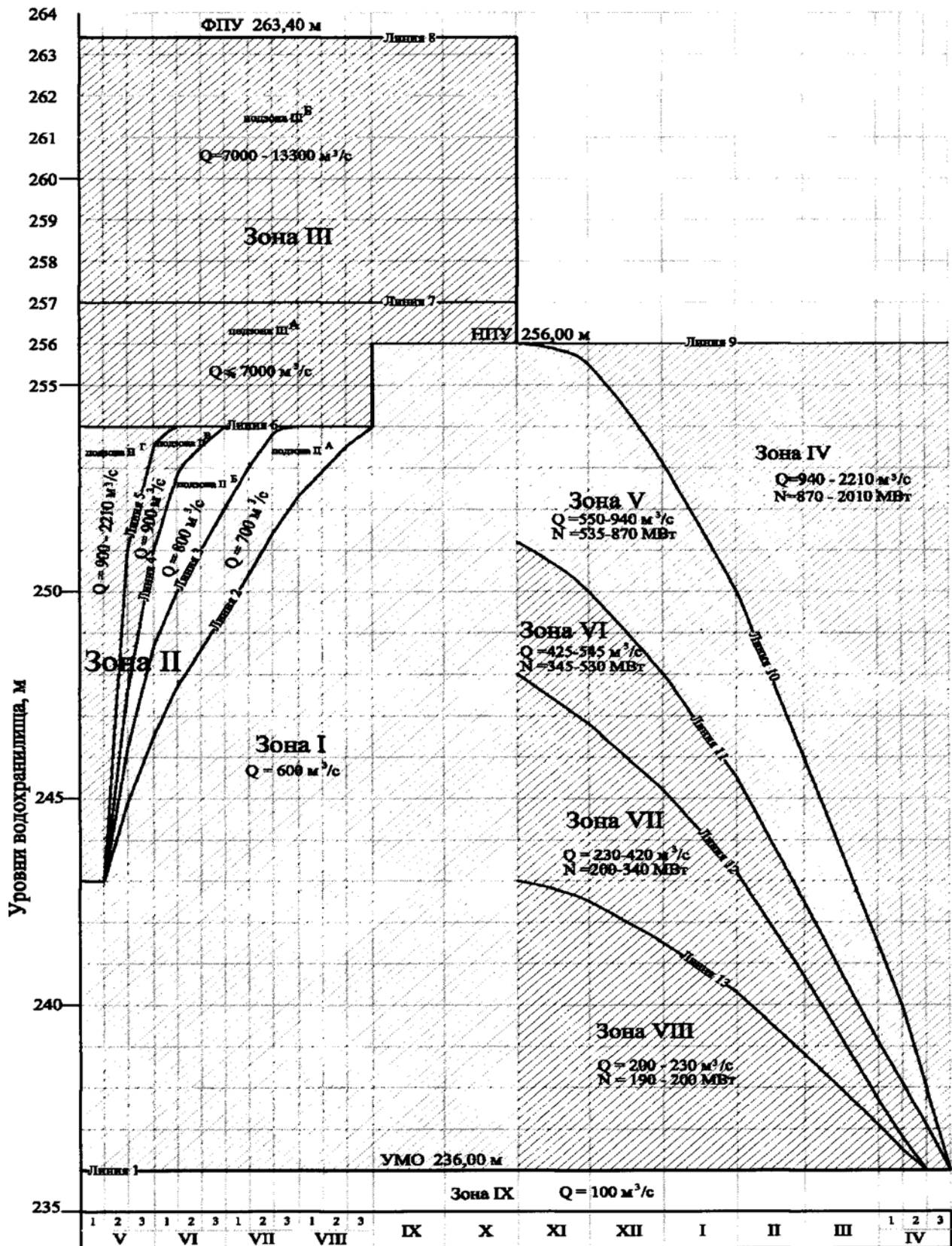


Рисунок 2.5 – Диспетчерский график работы Бурейского водохранилища.

В соответствии с правилами работы водохранилища и диспетчерским графиком (рисунок 2.5) наполнение водохранилища в период весенне-летнего половодья в среднем с начала мая до конца августа.

С сентября по октябрь поддерживается постоянный уровень на отметке НПУ и водохранилище не срабатывается. Сработка полного объема происходит в зимний период, начиная с ноября к концу зимней межени к середине апреля.



### 3. Хронологические закономерности притока воды в Бурейское водохранилище в зимний период.

#### 3.1. Исходные данные и выделение зимнего сезона по режиму притока.

Исходными данными являлись величины расходов притока воды в Бурейское водохранилище в зимний период. Сведения по расходам притока были взяты с сайта Русгидро [3]. На данном сайте имеется информация по уровню воды в водохранилище, расходу притока воды в водохранилище, общему расходу отдачи воды, расходу отдачи через водосбросы и т.д. на разных ГЭС многих крупных рек. Данные по ГЭС на реке Бурей имеются с 13 апреля 2013 год и обновляются каждый день. Для проведения исследований были подготовлены данные о среднесуточных расходах притока воды в Бурейское водохранилище за семь зимних периодов: начиная с зимы 2014/15 г.г. по зиму 2020/21г.г.

Данные о среднесуточных расходах притока представлены в Приложении А.

Так как изначально не были установлены даты границ зимнего периода, данные собирались за более продолжительный осенне-зимне-весенний период: с 1 октября по 30 апреля. В дальнейшем для назначения границ зимнего периода использовались сведения о температурах воздуха на опорной метеостанции, расположенной на водосборе реки Бурей.

Основной метеостанцией была выбрана метеостанция в городе Софийск расположенная в верхней части водосбора р. Бурей и, соответственно, Бурейского водохранилища (рисунок 3.1). Данные о среднесуточных температурах воздуха собраны за такой же по продолжительности период: с 1

октября по 30 апреля. Сведения о температурах воздуха получены с сайта Метео.ру [4]. Данные ограничены 2019 годом, но это не помешало проанализировать и назначить начало зимнего периода. Данные по температуре воздуха представлены в приложении Б.

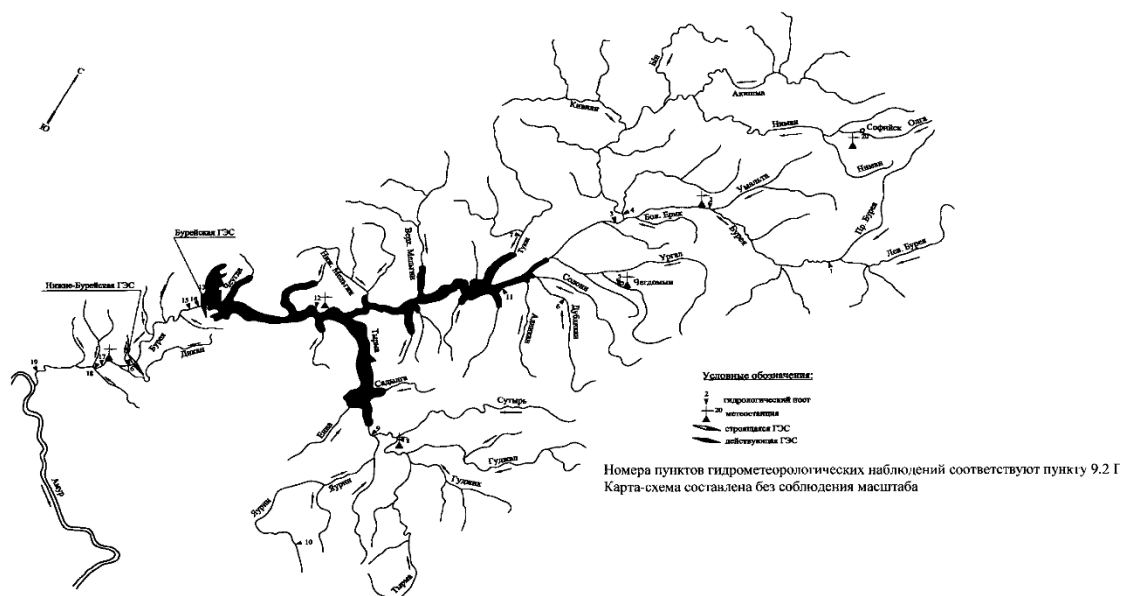


Рисунок 3.1 Карта-схема расположения гидро- и метеопостов в бассейне р.Буреи.

За зимний период целесообразно принять период с осенней даты начала устойчивых отрицательных температур воздуха и до весенней даты перехода температур к положительным значениям, т.е. до начала весеннего половодья. В этот период устойчивое поверхностное питание рек за счет жидких осадков прекращается. В питании рек и в формировании притока воды в водохранилище участвуют только ранее накопленные русловые запасы воды и запасы дренируемых грунтовых и подземных вод.

С целью выделения зимнего периода были построены совмещенные гидрографы притока за 7 осенне-зимнего-весеннего периодов: с 2013/14 по 2020/21 сезоны. Гидрографы представлены на рисунке 3.2.

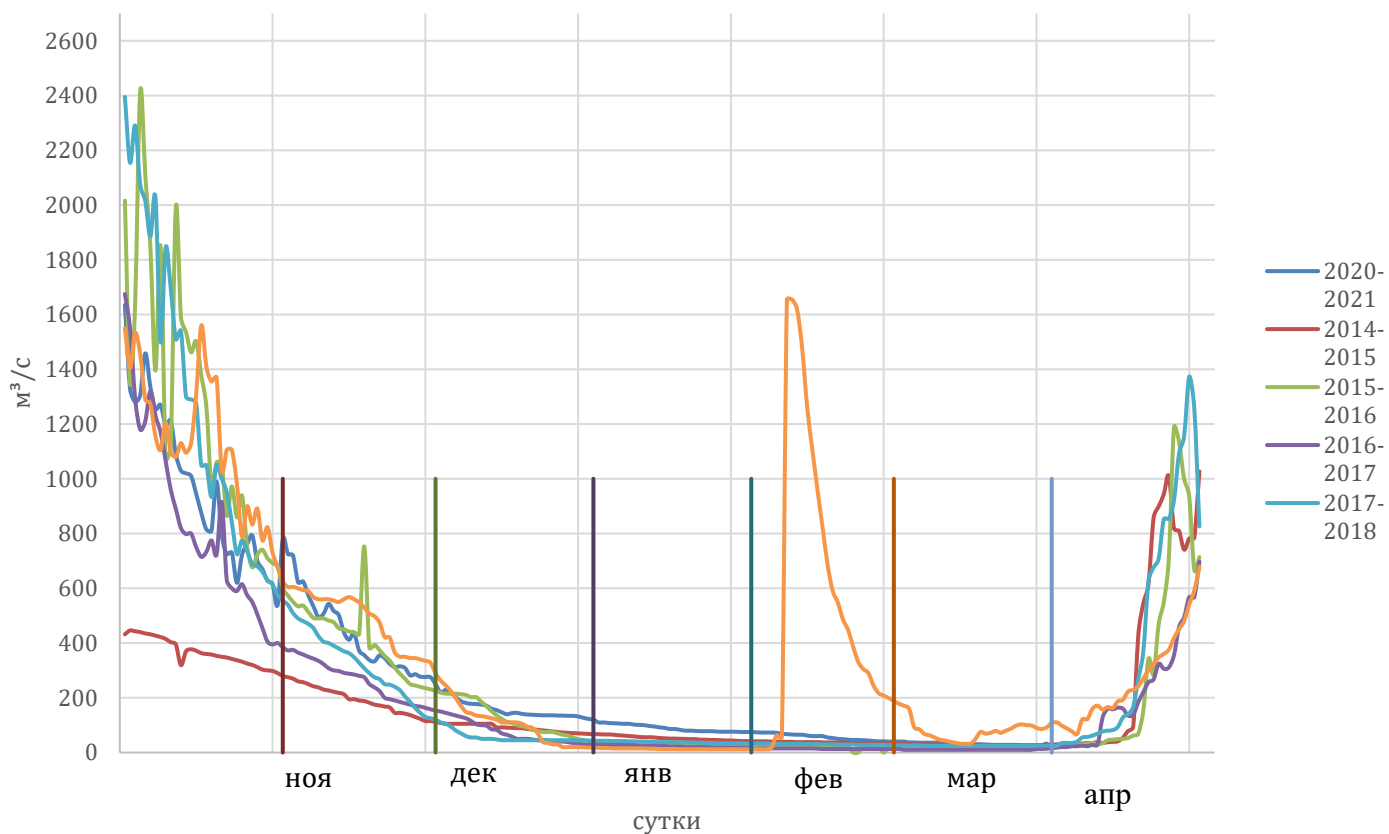


Рисунок 3.2 Гидрографы притока в водохранилища за сезоны 2013/14 - 2020/21 годов

Для установления устойчивых сроков перехода температур воздуха через ноль градусов осенью и весной были построены совмещенные графики температур за 2013/14 – 2018/19 г.г.

Данные о среднесуточных температурах воздуха представлены в Приложении Б.

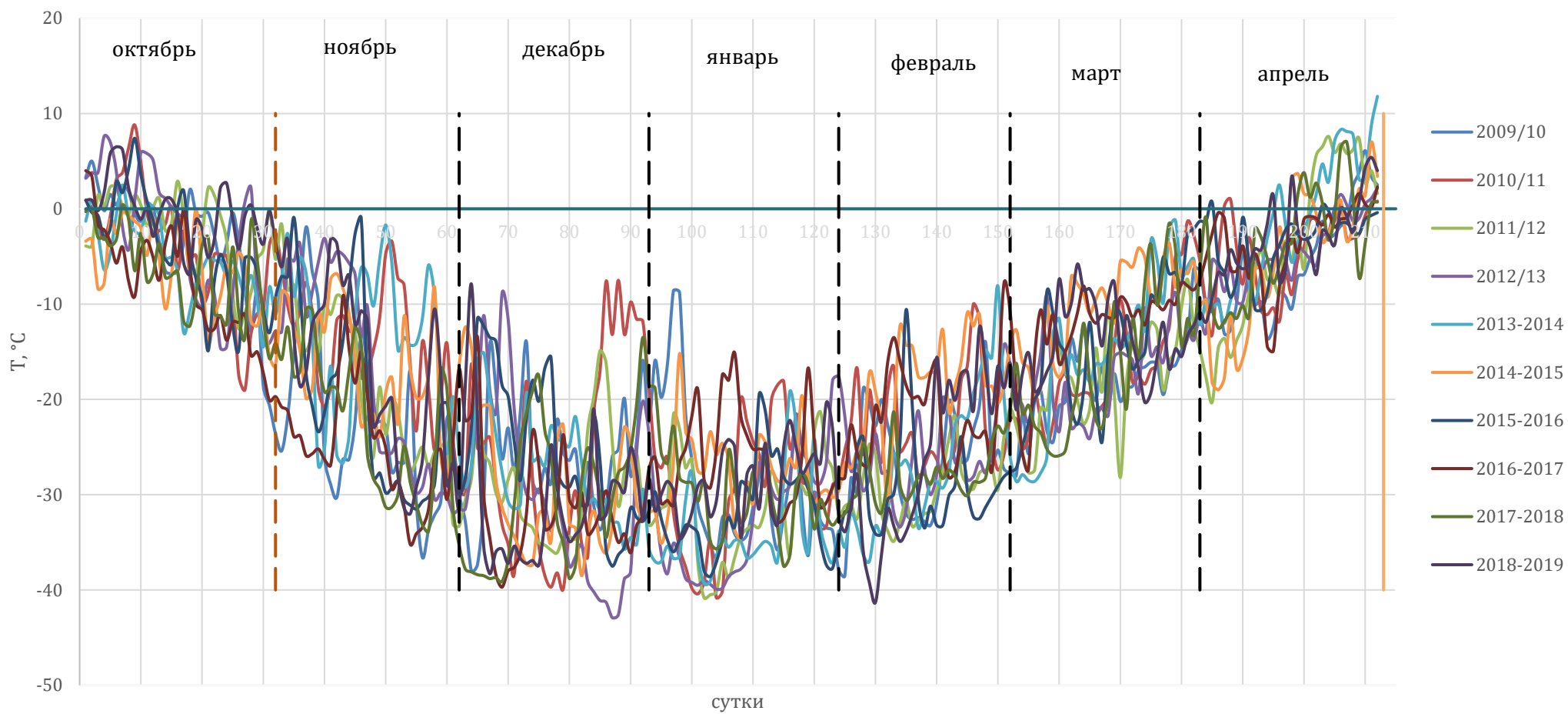


Рисунок 3.3 – график хода температур на метеостанции в г.Софийск за 2013-2019 годы.

Как показывают графики, за начало зимнего периода следует принять 1 ноября. С начала этого месяца во все годы происходит устойчивый переход к отрицательным температурам. За конец зимнего периода можно принять 31 марта, т.к. с начала апреля температуры во все годы переходят на положительные значения. С середины апреля начинается снеготаяние и весеннее половодье, что хорошо видно на рисунке 3.2.

Таким образом, для дальнейших исследований можно принять, что зимний период имеет продолжительность 5 месяцев: с 1 ноября по 31 марта т.е. 153 дня.

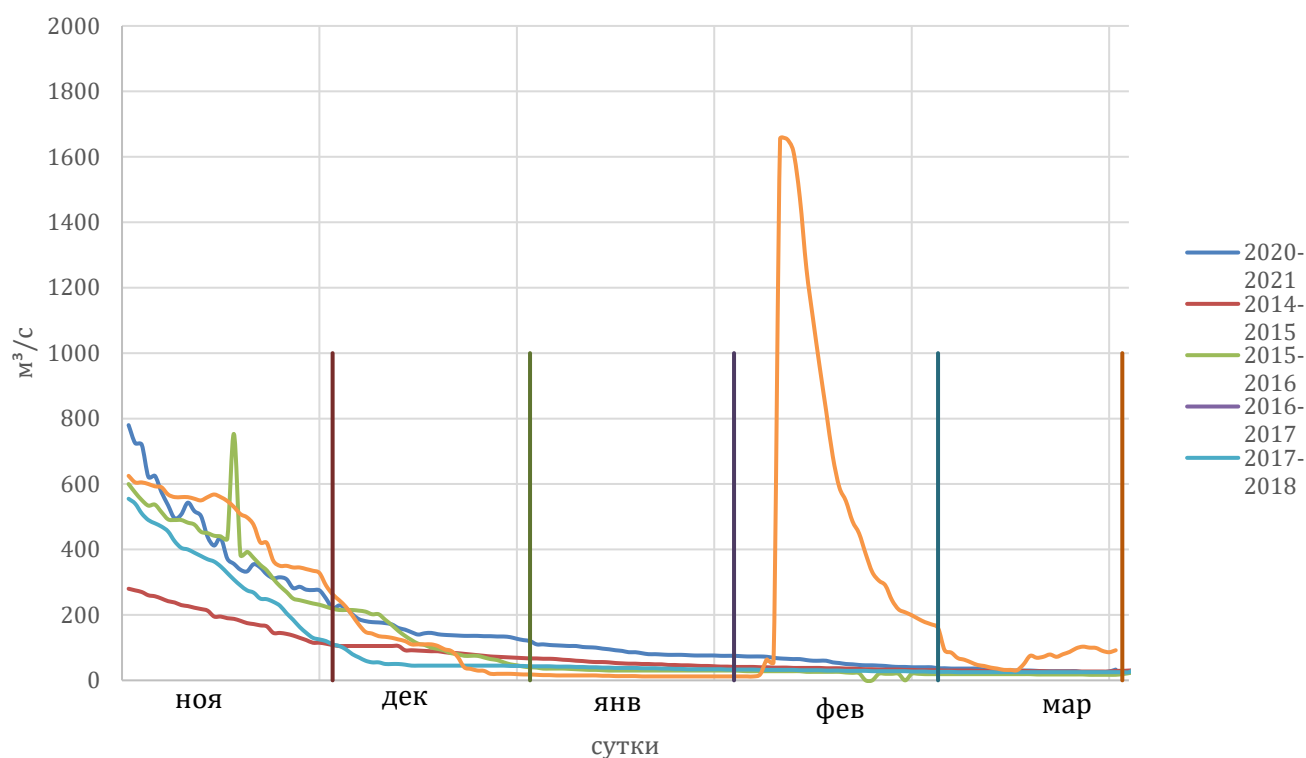


Рисунок 3.4 – Гидрографы притока в водохранилища за зимний период за сезоны 2013/14 -2020/21 годов

### 3.2. Особенности распределения во времени зимнего притока в водохранилище

Первоочередной анализ закономерностей изменения притока воды в водохранилище в зимний период проведен по совмещенным гидрографам притока.

Графики гидрографов притока за установленный зимний период показаны на рисунке 3.4. Анализ гидрографов показывает, что во все зимы происходит характерное уменьшение расходов притока от больших значений в начале зимнего периода к очень незначительным величинам притока в конце зимнего периода.

Колебания расходов притока за начало периода 1 ноября изменяются от минимального  $280 \text{ м}^3/\text{с}$  до максимального  $780 \text{ м}^3/\text{с}$ . Среднее значение –  $580 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Колебания расходов притока на конец периода 31 марта изменяются от минимального  $14,2 \text{ м}^3/\text{с}$  до максимального  $92,3 \text{ м}^3/\text{с}$  до. Среднее значение –  $38,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Исключение составляет гидрограф в зимний период 2018/19 года. В эту зиму процесса устойчивого уменьшения притока не происходит. В феврале наблюдается резкое увеличение притока, не характерное для всех других лет. Причиной этому послужило невероятная по своим масштабам природная катастрофа. 11 декабря 2018 года с крутого левого склона долины р. Буреи сошел крупный оползень. Местоположение оползня находилось в 20 км выше впадения в Бурею большого левого притока — реки Тырмы. (рисунок 3.5.)

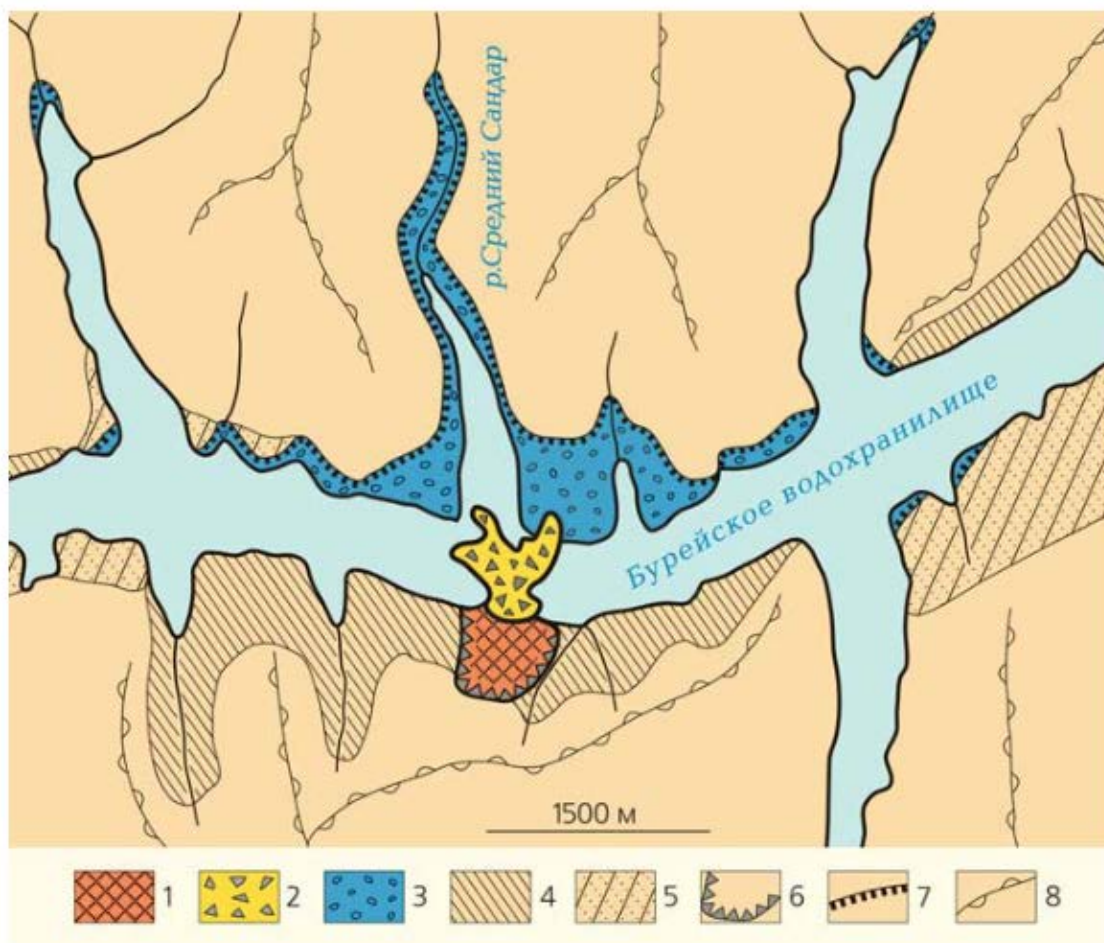


Рисунок 3.5 – местоположение оползня

Положение оползня и границы волны цунами. 1 — поверхность скольжения оползня, 2 — оползневое тело, 3 — ареал уничтоженного леса, 4 — крутые склоны, 5 — пологие склоны, 6 — стенка срыва, 7 — граница заплеска волны цунами, 8 — гребни водоразделов.

На следующем этапе были проанализированы закономерности распределения суммарного притока за весь зимний период по последовательным интервалам времени. За интервалы времени принимались декады и месяцы зимнего периода.

За каждую декаду вычислялся объем притока в млн м<sup>3</sup> и величины

нарастающего объема притока от первой декады ноября до третьей декады марта. Данные по нарастающей сумме объема притока представлены в таблице 3.1.

Объемы притока за каждую декаду рассчитывались по формуле:

$$W = Q_{ср} \cdot n \cdot 0,0864 \text{ сек, (тыс м}^3\text{)}$$

Где  $Q$  – средний расход за декаду,  $n$  – количество дней,

$0.864$  – количество тысяч секунд в сутках.

Таблица 3.1 – Нарастающая сумма притока  
на конец каждой декады. (в млн. м<sup>3</sup>)

	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
	0	0	0	0	0	0	0	0
1 дек XI	432	219	455	304	409	507	428	529
2 дек XI	674	387	852	540	696	969	708	880
3 дек XI	884	507	1090	694	861	1280	889	1139
1 дек XII	1093	598	1272	806	930	1449	1041	1314
2 дек XII	1297	678	1373	872	970	1544	1181	1442
3 дек XII	1457	749	1433	954	1013	1572	1303	1568
1 дек I	1555	803	1464	979	1049	1586	1402	1661
2 дек I	1636	848	1490	999	1082	1597	1488	1738
3 дек I	1712	891	1518	1016	1115	1608	1572	1811
1 дек II	1767	926	1543	1029	1143	2050	1641	1872
2 дек II	1810	958	1565	1041	1169	2774	1698	1920
3 дек II	1837	980	1580	1050	1188	2963	1738	1950
1 дек III	1862	1007	1597	1059	1211	3058	1779	1983
2 дек III	1887	1031	1613	1068	1232	3100	1816	2009
3 дек III	1922	1057	1630	1078	1256	3185	1853	2035

Значения суммы на последнюю декаду марта колеблются от минимального значения – 1 млн м<sup>3</sup> до максимального значения – 2035 млн м<sup>3</sup>. Среднее значение – 1550 млн м<sup>3</sup>.

Графики, отображающие особенности увеличения суммарного объема притока в течение зимнего периода показаны на рисунке 3.6.



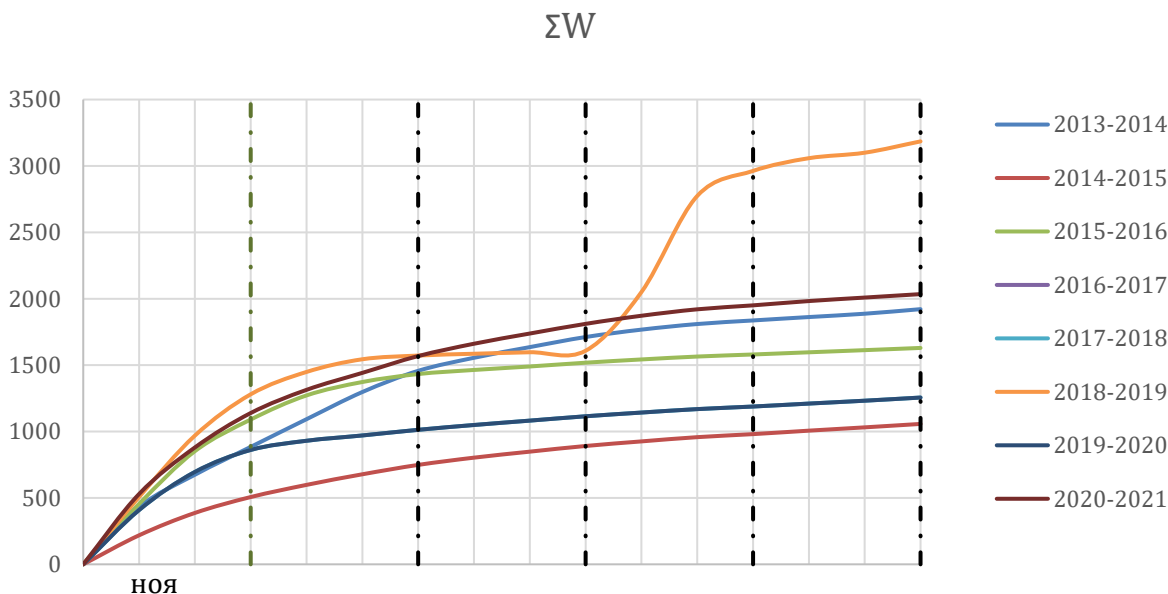


Рисунок 3.6 – Сумма притока на конец каждой декады.

Как видно на графике во все годы основной вклад в приток вносится в первые 2 месяца, а последующие три месяца увеличение незначительное. Максимальная сумма притока на конец ноября – 1280 млн м<sup>3</sup>. минимальная – 218 млн м<sup>3</sup>. Максимальная сумма притока на конец декабря – 1433 млн м<sup>3</sup>, минимальная – 749 млн м<sup>3</sup>. Максимальная сумма притока на конец января – 1712 млн м<sup>3</sup>, минимальная – 891 млн м<sup>3</sup>. Максимальная сумма притока на конец февраля – 1837 млн м<sup>3</sup>, минимальная – 780 млн м<sup>3</sup>. Максимальная сумма притока на конец марта – 1922 млн м<sup>3</sup>, минимальная – 1057 млн м<sup>3</sup>.

Для оценки внутригодового распределения доли притока были подсчитаны значения притока на конец каждой декады в процентах за сезон и построены графики распределения притока в долях от суммарного. Графики представлены на рисунке 3.6.

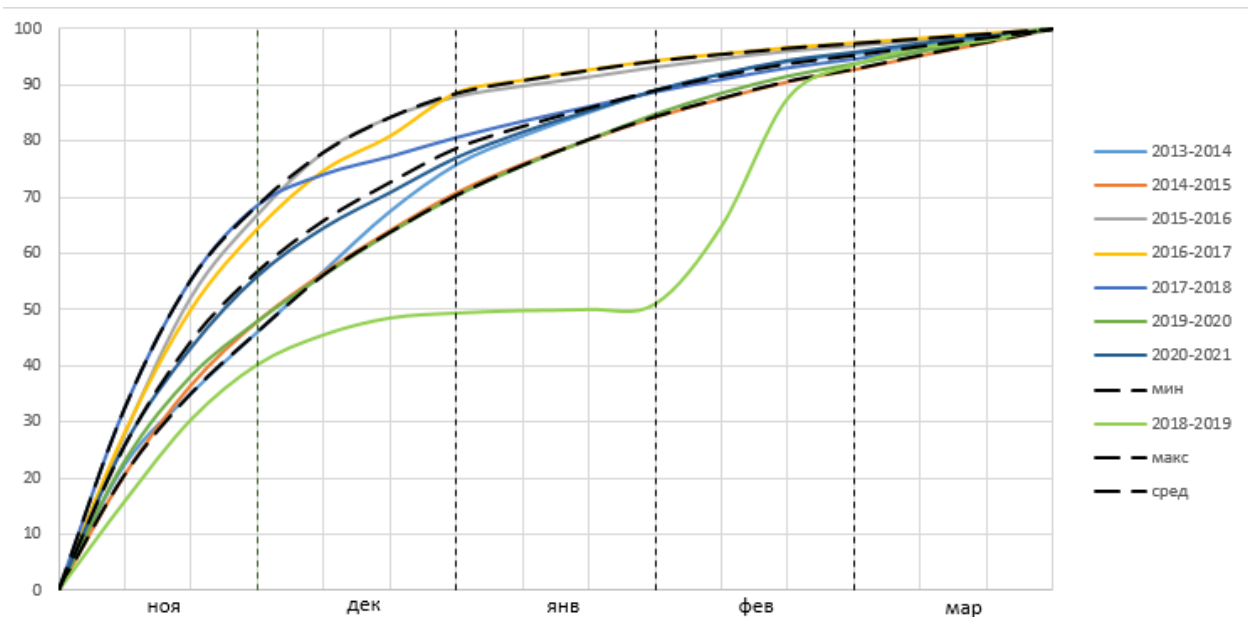


Рисунок 3.7 – Сумма притока в процентах

Наращение суммы притока происходит в первые 3 месяца и незначительно приходит в феврале и марте. Также на графике видно, что объем притока 2018/19 года по своей абсолютной величине и характеру нарастания полностью не соответствует особенностям нарастания и величинам суммарного притока в другие зимние сезоны. В целом суммарный приток изменяется:

В первую декаду ноября максимальное значение - от 30%, минимальное - 20%, в среднем 25%. Во вторую декаду ноября - максимальное значение доходит до 55%, минимальное опускается до 35%. В среднем 45%. В третью декаду ноября максимальное значение достигает отметки почти в 70%, а минимальное - 45%, в среднем 55%.

В первую декаду декабря максимальное значение - 78%, минимальное - 55%, в среднем 65%. Во вторую декаду декабря - максимальное значение доходит до 84%, минимальное опускается до 62%. В среднем 73%. В третью декаду ноября максимальное значение достигает отметки почти в 70%, а минимальное - 45%, в среднем 55%.

В первую декаду января максимальное значение наблюдается в отметке

90%, а минимальное в 75%, в среднем 84%. Во вторую декаду января - максимальное значение доходит до 93%, минимальное опускается до 80%, среднее 87%. В третью декаду января максимальное значение достигает отметки почти в 95%, а минимальное - 85%, в среднем 90%.

Сумма притока за 3 месяца составляет в среднем 90 процентов, а оставшиеся 10 приходится на февраль и март (6% и 4% на каждый соответственно).

Для удобства представления в таблице 3.2 приводятся значения притока (в млн м<sup>3</sup>) на конец каждой декады зимнего периода в процентах от суммарного притока за весь зимний период.

Таблица 3.2 – данные по притоку в млн м<sup>3</sup> и % по каждой декаде каждого года.

	2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020		2020-2021	
	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%	млн м <sup>3</sup>	%
1 дек XI	432	22	219	21	455	28	304	28	409	33	507	23	428	26	529	16
2 дек XI	674	35	387	37	852	52	540	50	696	55	969	38	708	43	880	30
3 дек XI	884	46	507	48	1090	67	694	64	861	69	1280	48	889	56	1139	40
1 дек XII	1093	57	598	57	1272	78	806	75	930	74	1449	56	1041	65	1314	45
2 дек XII	1297	68	678	64	1373	84	872	81	970	77	1544	64	1181	71	1442	48
3 дек XII	1457	76	749	71	1433	88	954	89	1013	81	1572	70	1303	77	1568	49
1 дек I	1555	81	803	76	1464	90	979	91	1049	84	1586	76	1402	82	1661	50
2 дек I	1636	85	848	80	1490	91	999	93	1082	86	1597	80	1488	85	1738	50
3 дек I	1712	89	891	84	1518	93	1016	94	1115	89	1608	85	1572	89	1811	51
1 дек II	1767	92	926	88	1543	95	1029	95	1143	91	2050	89	1641	92	1872	64
2 дек II	1810	94	958	91	1565	96	1041	97	1169	93	2774	92	1698	94	1920	87
3 дек II	1837	96	980	93	1580	97	1050	97	1188	95	2963	94	1738	96	1950	93
1 дек III	1862	97	1007	95	1597	98	1059	98	1211	96	3058	96	1779	97	1983	96
2 дек III	1887	98	1031	98	1613	99	1068	99	1232	98	3100	98	1816	99	2009	97
3 дек III	1922	100	1057	100	1630	100	1078	100	1256	100	3185	100	1853	100	2035	100

Средняя доля притока каждого из месяцев представлена на рисунке 3.8

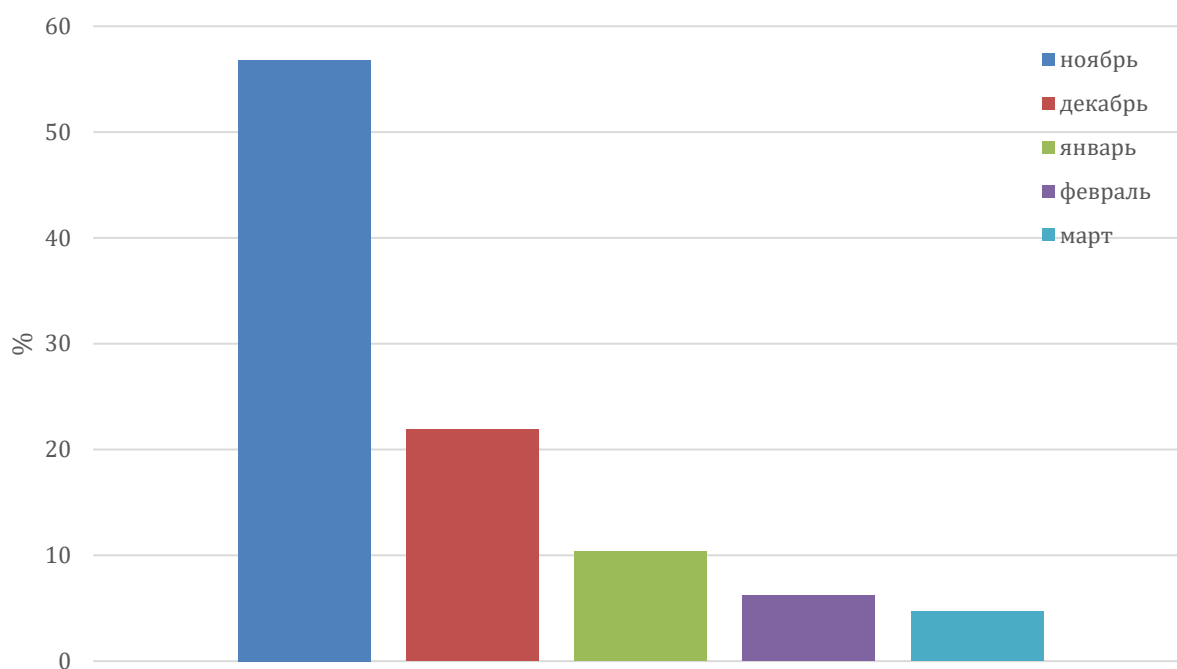


Рисунок 3.8 - Средняя доля притока каждого из месяцев

Таким образом, в ноябре доля притока составляет 57%, в декабре 21%, в феврале 11%, в январе около 6% и в марте 5%.

### 3.3 Математическая аппроксимация гидрографа притока в водохранилище в зимний период

Для описания процесса уменьшения зимнего притока в водохранилище, было проведено исследование по подбору аналитических уравнений, описывающий зависимость уменьшения притока во времени. Было рассмотрено 4 модели:

1) Гиперболического вида:

$$K\tau = \frac{1}{(1+b\tau)},$$

2) Линейного вида:

$$K\tau = -a\tau + b,$$

3) Степенного вида:

$$K\tau = \tau^n,$$

4) Показательного вида:

$$K\tau = 10^{-a\tau},$$

Где  $\tau$  – сутки от начала зимнего периода, изменяются от 1 до 153.

$K\tau$  – нормированная величина расходов притоков. Высчитывается по формуле:

$$K\tau = Q\tau/Q1$$

Где  $Q\tau$  – приток на сутки  $\tau$ ,

$Q1$  – расход притока на 1 ноября – начало зимнего периода,

$a, b$  – параметры уравнений в процессе подбора.

Проанализировав данные по всем годам, было выявлено, что не все уравнения подходят для всех лет. Наиболее подходящими являются степенная и показательная функция (модель 3 и модель 4).

Анализ изменения нормированной величины  $K_t$  во времени показал, что невозможно описать весь зимний период одним уравнением, т.к. явно прослеживаются 2 фазы (рисунок 3.10)

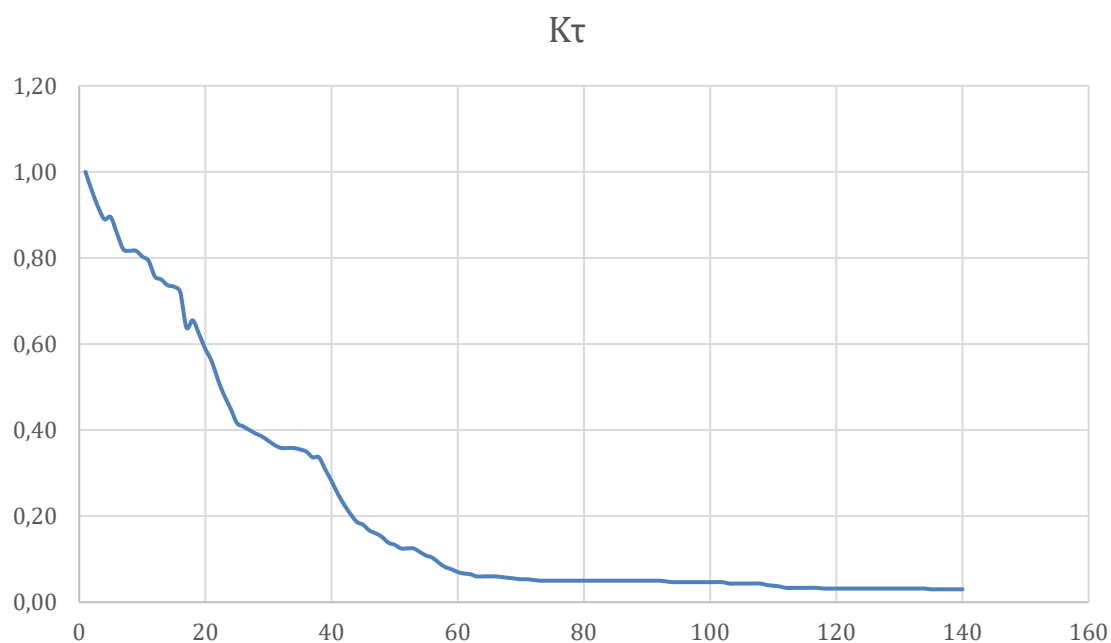


Рисунок 3.9– График хода нормированная величина расходов притоков

Было установлено, что первая фаза длится с ноября по первую декаду января. А вторая фаза начинается во второй половине января и заканчивается в конце марта.

Анализ показал, что в зависимости степенного вида показатель степени  $n$  не постоянный, а также изменяется в течение зимнего периода. На рисунке 3.11 показан пример изменения параметра  $n$  в зависимости степенного вида на примере 2015-2016.

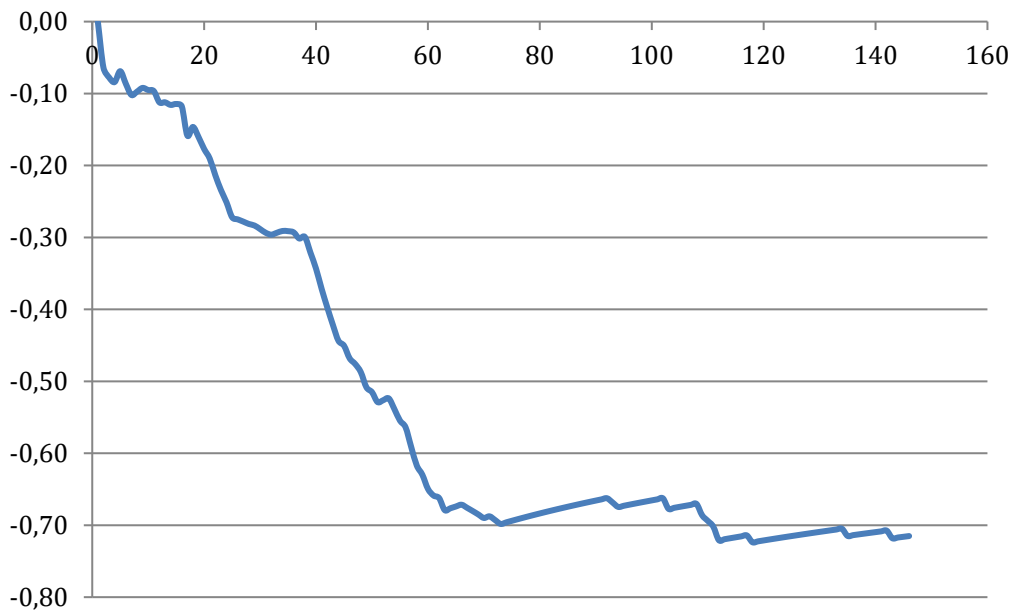


Рисунок 3.10 – График хода зависимости  $n$  за весь зимний период

Зависимость  $n$  также показывает, что выделяется 2 фазы.

Характер изменения параметра  $n$  во времени также показывает целесообразность выделения в зимнем периоде 2 фазы: начальная фаза зимы с интенсивным уменьшением расхода притока и вторая фаза зимы с более устойчивым характером зимнего притока в водохранилище. Для каждой фазы  $n$  от  $\tau$  можно аппроксимировать линейными уравнениями. Примеры для первой фазы на рисунке 3.11, для второй на рисунке 3.12.

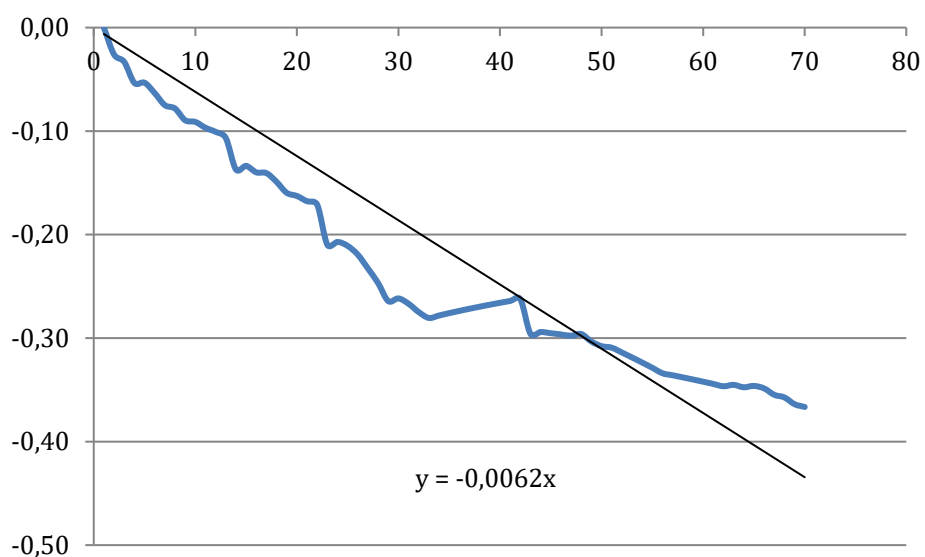


Рисунок 3.11 – График хода  $n$  в первую фазу (1-70 суток)



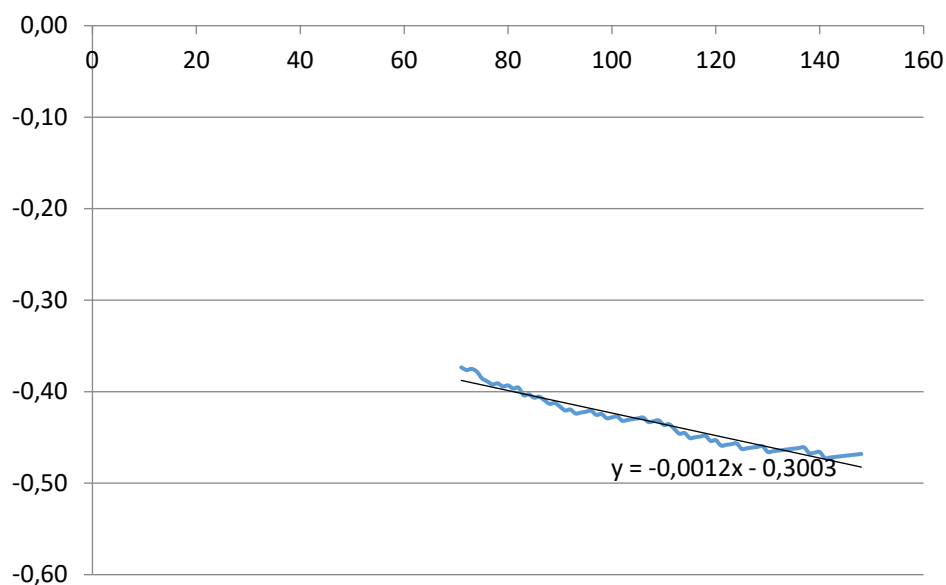


Рисунок 3.12 – График хода  $n$  во вторую фазу (71-143 суток)

В результате кривые изменения значения  $K\tau$  в течение зимнего периода описываются показательным уравнением  $K\tau = \tau^n$ , в котором  $n$ , в свою очередь, зависит от  $\tau$  и эта зависимость для первой фазы зимнего периода описывается линейным уравнением  $n = a \cdot \tau$ . А для второй фазы  $n = a \cdot \tau + b$ . В целом можно сказать, что аналитическое уравнение по третьей модели имеет показательно-степенной вид. Полученные значения представлены в таблице в приложении Д.

Значения подобранных параметров  $a$  и  $b$  представлены в таблице 3.2. Для каждого года был сделан расчет значения  $K\tau$  по модели 3 в приложении Д.

Для оценки точности выбранного уравнения, следует совместить полученное значение  $K\tau$  с данным  $K\tau$ . Полученные графики представлены на рисунке.

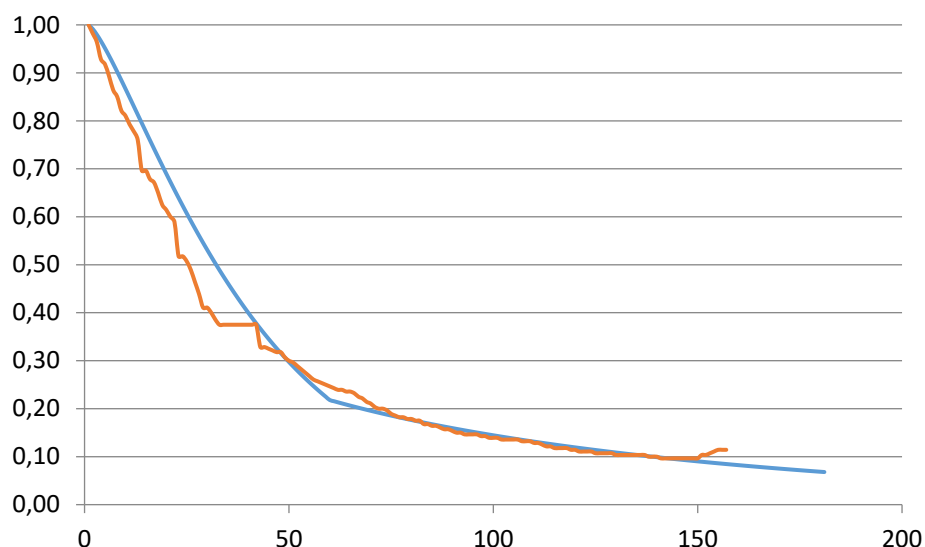


Рисунок 3.13 – Совмещенные графики полученного и данного  $K\tau$ .

Как показывает график, полученное уравнение хорошо представляет график во времени. подобрано верно и хорошо описывает данное  $K\tau$ .

Исследуя возможность использования показательного уравнения  $K\tau = 10^{-a\tau}$  порядок аналитических действий оставался примерно таким же

Разбирая четвертую модель, порядок действий остается примерно таким же. Есть небольшие отличия в данной методике – все составляющие считаются не для  $\tau$ , а для  $(\tau-1)$ . Для установления параметров показательного уравнения анализируя зависимость  $K\tau$  от  $T$  отдельно для первой и второй фаз зимнего периода. На рисунке 3.14 представлен график  $\log K\tau$  для первой фазы, на рисунке 3.15 для второй фазы.

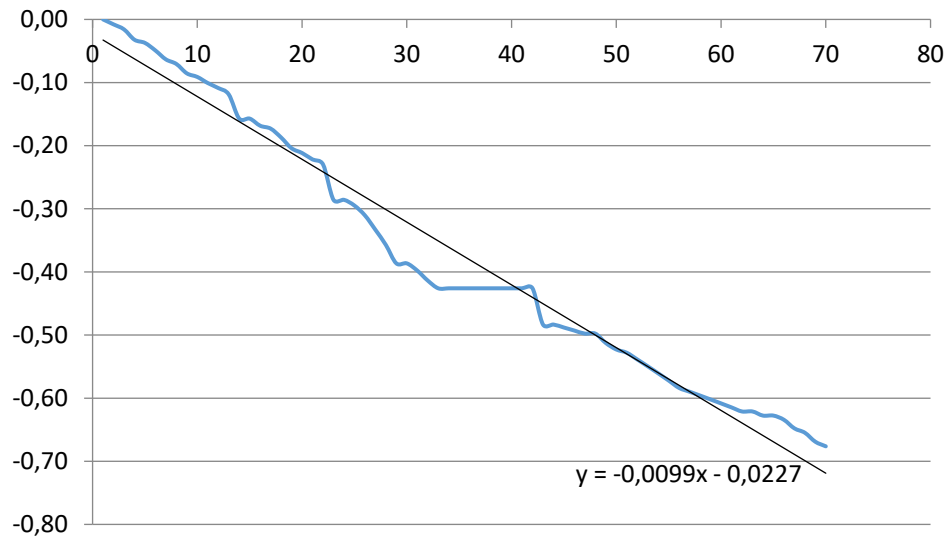


Рисунок 3.14 – график  $\log K_t$  для первой фазы (1-70 суток)

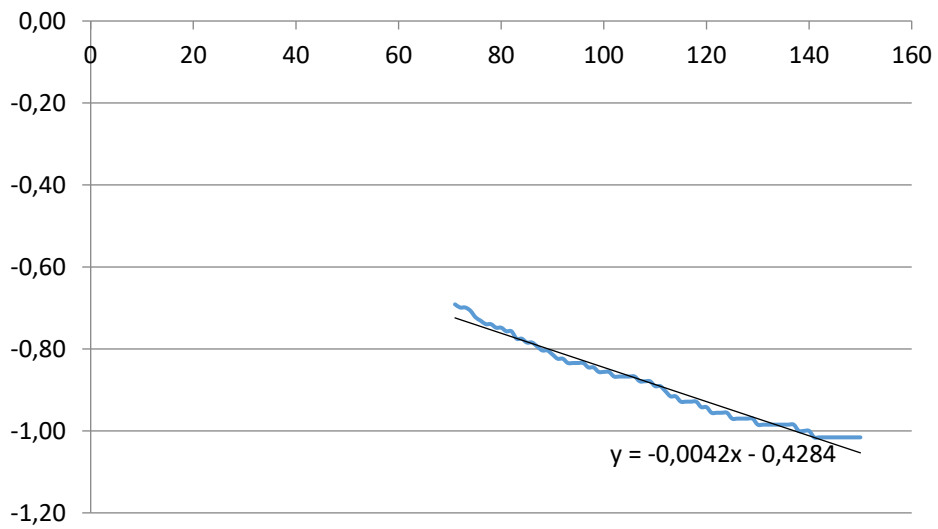


Рисунок 3.15 – График  $\log K_t$  для второй фазы (71-143 суток)

Полученные значения с графика подставляются в уравнение модели и высчитываются для каждой фазы. Полученные значения представлены в таблице в приложении Д.

Для оценки точности подобранных уравнений, полученное значение  $\log K_t$  совмещалось с данным  $\log K_t$ . Совмещ. Графики Соответствующие графики представлены на рисунке 3,18

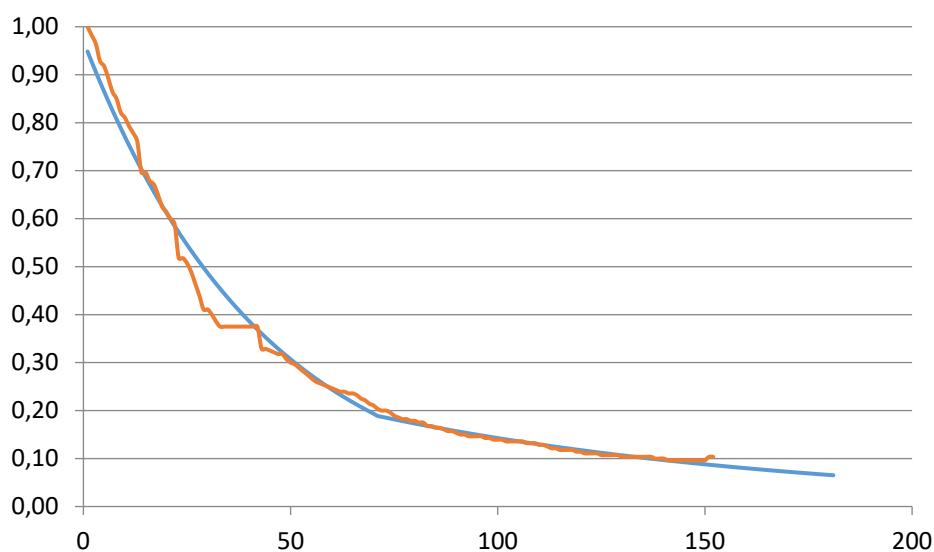


Рисунок 3.16 – Совмещенные графики рассчитанных и фактических значений  $\log K_t$

Как показывает график, уравнение подобрано верно и хорошо описывает данное  $\log K_t$ .

Значения параметров уравнения показательного вида для всех восьми лет приводятся в таблице 3.2. Все расчетные таблицы и графики, использованные в процессе анализа третьей и четвертой модели представлены в приложениях В, Г и Д соответственно.

Ниже представлена таблица 3.2, в которой указаны все параметры  $a$  и  $b$  для уравнений показательного и степенного вида для всех восьми лет.

Таблица 3.2 – Параметры а и б для уравнений показательного и степенного вида с 2014 по 2021 годы.

w сток		3 модель			4 модель			
		1 фаза	2 фаза		1 фаза		2 фаза	
годы (от маловодного)		a	a	b	a	b	a	b
2014-2015	1057277	-0,006	-0,001	-0,30	-0,009	-0,023	-0,004	-0,43
2016-2017	1078444	-0,010	-0,002	-0,551	-0,019	0,123	-0,005	-0,872
2017-2018	1255910	-0,009	-0,63		-0,0195	-0,011	-0,003	-0,969
2015-2016	1629590	-0,01	-0,70		-0,017		0,004	
2019-2020	1853366	-0,003	-0,002	-0,335	-0,0096	-0,256	-0,006	-0,451
2020-2021	2034806	-0,0066	-0,003	-0,273	-0,012	-0,093	-0,008	-0,3
2018-2019	3184963	-0,015			-0,028	0,33		

Был проведен предварительный анализ закономерностей изменения параметров а и б уравнений показательного и степенного вида в зависимости от водности года. Каких-либо закономерностей изменений параметров на данном этапе исследований установлено не было.

### 3.4 Исследование зависимости декадного и месячного объемов притока от величины начального расхода притока

Предыдущий анализ показал, что приток в водохранилище в зимний период наблюдается уменьшение закономерности притока во времени. Эти закономерности хорошо описываются аналитическими уравнениями. Поэтому можно предположить наличие связей между значениями притока воды в водохранилище в различные периоды времени. Такие связи при их наличии могут быть спрогнозированы.

С целью оценки возможности прогнозирования притока в зимний период была проведена проверка связей между расходом притока на 1 ноября и величиной объема притока на конец каждой декады зимнего периода.

Примеры зависимостей представлены на рисунках 3.18 – 3.21. Коэффициенты корреляции этих связей для расчетно-прогностического периода наблюдаются от 0,75 до 0,90. Значения коэффициентов корреляции и их изменение в течение зимнего периода приведены в таблице 3.3 и показаны на рисунке 3.19

Таблица 3.3 – Изменение коэффициента корреляции между расходом притока на начало зимы и объемом притока за различные по продолжительности зимние периоды.

ноябрь			декабрь			январь			февраль			март		
1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада
0,89	0,77	0,74	0,76	0,79	0,82	0,85	0,87	0,943	0,806	0,896	0,899	0,901	0,903	0,903

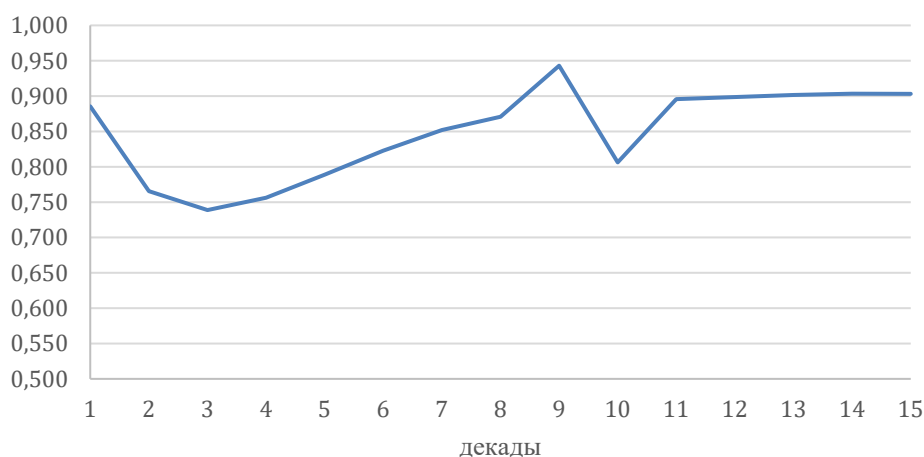


Рисунок 3.17 – График изменения коэффициента корреляции между расходом притока на начало зимы и объемом притока за различные по продолжительности зимние периоды

Все значения коэффициента корреляции превышают значения 0,7. Это указывает на возможность прогнозирования притока для всего зимнего периода и различных его интервалов. Прогноз притока в свою очередь дает возможность прогнозировать объем выработанной энергии на ГЭС в зимний период.

Корреляционные зависимости рассматривались для каждой декады и все графики представлены в приложении Е. Ниже на рисунках 3.20-3.21 показаны примеры корреляционных зависимостей.

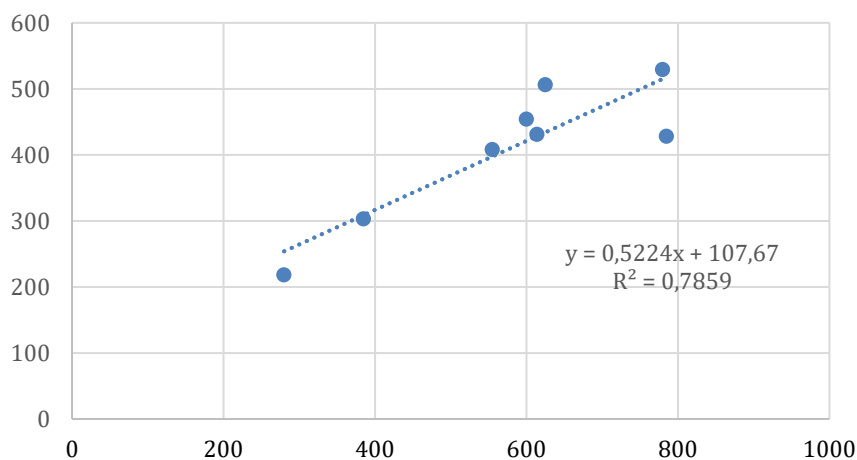


Рисунок 3.18 – Зависимость между расходом притока на начало зимнего периода и объемом притока за первую декаду зимнего периода

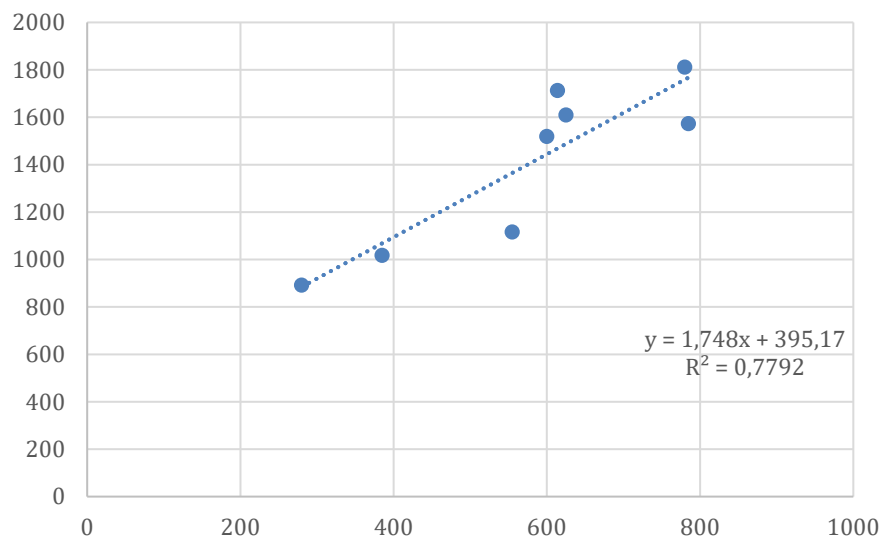


Рисунок 3.19 – Зависимость между расходом притока на начало зимнего периода и объемом притока за первый месяц зимнего периода

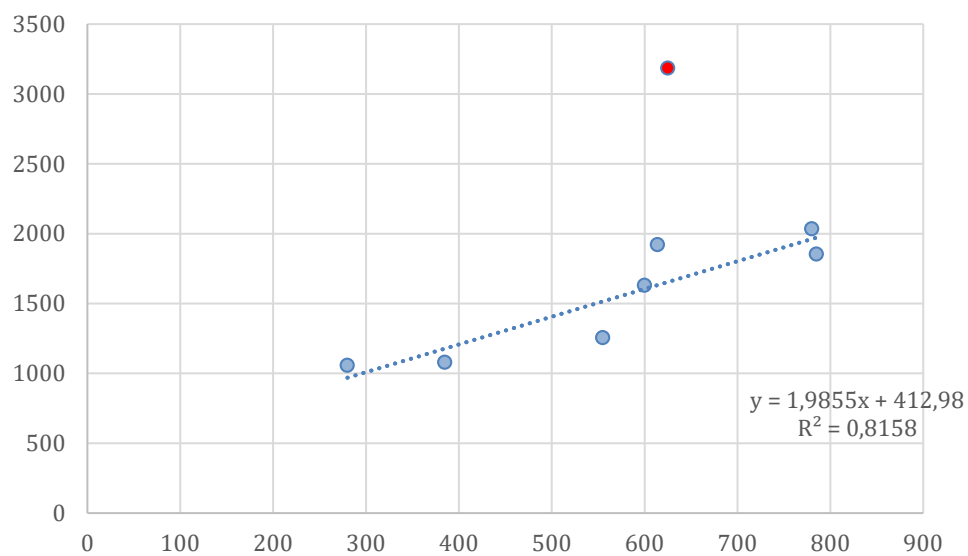


Рисунок 3.20 – Зависимость между расходом притока на начало зимнего периода и объемом притока за три месяца зимнего периода



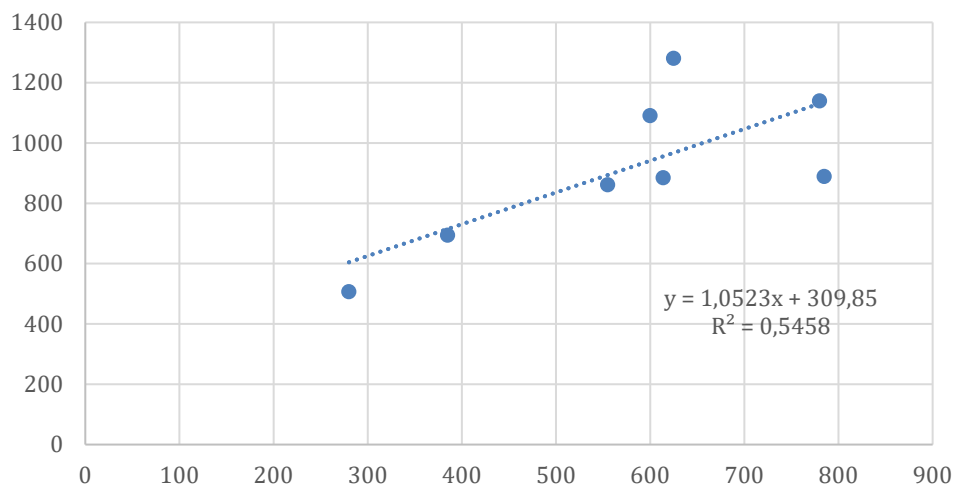


Рисунок 3.21 – Зависимость между расходом притока на начало зимнего периода и объемом притока за пять месяцев зимнего периода

## Заключение

В данном дипломном проекте был рассмотрен зимний приток в Бурейское водохранилище, а также его изменение в течение зимнего периода. Произведен анализ материалов о притоке воды в водохранилище за восемь зимних сезонов с 2013 по 2021 год, а также температур воздуха с целью выделения границ зимнего сезона по режиму притока воды.

В результате проведенных исследований и анализа получены следующие результаты:

- 1) Установлены границы начала и окончания зимнего притока воды в Бурейское водохранилище в осенне-зимний период. За начало зимнего периода принято 1 ноября, а за конец – 1 марта. Длительностью зимнего периода – 5 месяцев (153 дня).
- 2) Оценены объемы зимнего притока в водохранилище. Суммарный объем за зимний период в среднем составляет 1550 млн м<sup>3</sup> и изменяется от 1 млн м<sup>3</sup> до 2050 млн м<sup>3</sup>. Объем зимнего притока имеет следующее распределение в течение пяти зимних месяцев: в среднем в ноябре поступает 57% притока, в декабре - 21% притока, в январе – 11% притока, в феврале 6%, в марте 5% притока.
- 3) Процесс истощения зимнего притока может описываться аналитическими уравнениями степенного и показательного вида, при этом нужно выделять 2 фазы: первая фаза с 1 по 70 сутки, вторая фаза с 71 по 143 сутки. По предварительным графическим сравнениям процесс уменьшения притока в зимний период лучше описывает уравнение показательного вида.
- 4) Закономерности изменения притока в течение зимы позволяют прогнозировать объем притока воды в Бурейское водохранилище за весь зимний период и за его различные временные интервалы по величине суточного расхода притока на начало зимнего периода. Значения

коэффициентов корреляции между расходом на первое ноября и объемами притока изменяются от 0,75 до 0,90.

## Список используемой литературы:

1. Бурейская ГЭС: гроссмейстерские ходы. Документальная история одной победы. — М.: Вагриус Плюс, 2006. — 120 с.
2. Газета "Энергетика и промышленность России" \№ 12 (64) декабрь 2005 года \Тема номера: Бурейская ГЭС: прошлое и будущее.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Приморье / под ред. И. С. Быкадорова. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — 83 с.
4. Бурейская ГЭС. Общие сведения. РусГидро. Интрнет-источник: <http://www.burges.rushydro.ru/branch/general/>
5. Метео.ру. Интернет-источник: <http://meteo.ru/>
6. Махинов А. Н., Поздняков А. В., Гусев М. Н., Помигуев Ю. В. Крупный оползень в долине р. Зеи. География и природные ресурсы. 1993; 1: 175–177.
7. Пинегина Т. К., Делемень И. Ф., Дрознин В. А. и др. Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2008; 1: 33–44.
8. Алексеев М. Д., Онухов Ф. С., Уфимцев Г. Ф. Сбросообвалы на северо-западном побережье Охотского моря. Геология и геофизика. 1975; 8: 87–95.
9. Правила использования Бурейского водохранилища. Интернет источник <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71969356/>
10. Карта гидропосто. Интернет-источник <https://allrivers.info/map>
11. Бурейская ГЭС. Бурейгэсстрой. Дата обращения: 18 сентября 2011.
12. Бурейское водохранилище. Интрнет-источник [amur.shamora.info](http://amur.shamora.info).
13. История Бурейской ГЭС. РусГидро. Интрнет-источник <http://www.burges.rushydro.ru/hpp/hpp-history/>