



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

Тема Изменчивость водности реки  
Волхов в историческом  
прошлом и в современных  
климатических условиях

Руководитель Смирнов Илья Михайлович  
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель  Доктор наук,  
(ученая степень, ученое звание)

Исполнитель Александрова Александра Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

«Допущено к защите допуском»  
подписанным руководителем кафедры



(подпись)

Кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Д. И.,  
(фамилия, имя, отчество)

06 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	2
1	Физико-географическое описание	3
1.1	Местоположение	3
1.2	Характеристика рельефа и ландшафтов	5
1.3	Геологическое строение	6
1.4	Социально-экономическая характеристика территории речного бассейна	8
1.5	Почвы	10
1.6	Растительность	11
1.7	Фауна	12
2	Гидрометеорологические (климатические) характеристики.	14
	Климат	
2.1	Температурный режим	14
2.2	Осадки	15
2.3	Ветер	17
3	Характеристика гидрологической и гидрогеологической изученности речного бассейна	18
3.1	Гидрологическая изученность бассейна реки Волхов	16
3.2	Гидрогеологическая изученность	20
4	Изменение водности реки Волхов под климатическим воздействием	23
4.1	Оценка изменений климата	22
4.2	Оценка водности реки Волхов	30
	Заключение	40
	Список используемых источников	41
	Приложение А.1	43
	Приложение А.2	47
	Приложение А.3	50

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является выявление и анализ изменчивости водности реки Волхов в историческом прошлом и в современных климатических условиях. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценка изменения климатических характеристик в регионе с середины прошлого века.
2. Выявление трендов в рядах данных температур воздуха, сумм осадков.
3. Оценка внутригодового стока реки Волхов
4. Анализ статистических характеристик среднемесячных расходов воды, выявление трендов.
5. Оценка влияния изменений климата на водность реки Волхова

Цель и задачи работы обусловлены актуальностью данной проблематики. За последние десятилетия климат значительно меняется что выражается в росте среднегодовой температуры, изменение количества осадков и многих других параметров. Изменение климата затрагивает режим рек. Важность изучения изменчивости реки Волхов состоит в необходимости разработки мер по сохранения экологического состояние реки и её водосбора, а также предотвращение и прогноз возможных последствий. Река Волхов имеет важное экономическое значения для северо-западной части Росси. Поэтому изменение водности реки Волхов оказывает сильное влияние на экономическую развитость региона.

# 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСКАНИЕ

## 1.1 Местоположение

Бассейн реки Волхов с озером Ильмень принадлежит водосбору Ладожского озера, являющегося частью бассейна реки Невы, впадающей в Финский залив Балтийского моря, и занимает площадь 80,2 тыс. км<sup>2</sup>. Располагается на территории четырех областей – Ленинградской (8%), Новгородской (61%), Псковской (21%) и Тверской (10 %). Максимальная протяженность бассейна с севера на юг составляет около 550 км с запада на восток – 370 км. Площадь территории российской части бассейна р. Волхов (без Ленинградской области) – 74,4 тыс. км<sup>2</sup>. На рисунке 1.2 представлена схема бассейна реки Волхов.

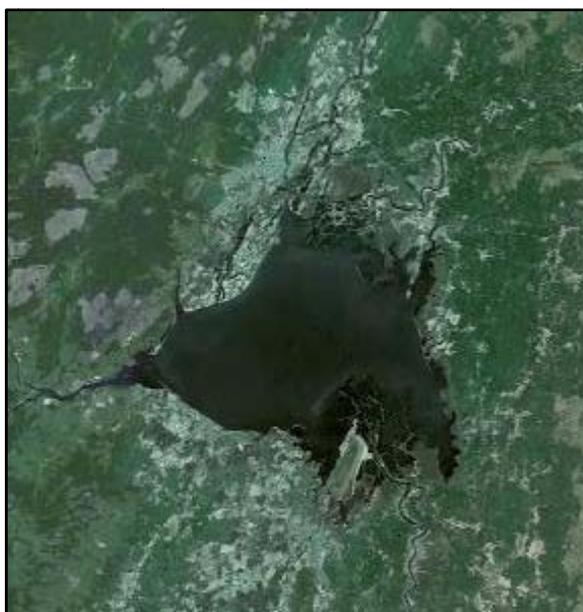


Рисунок 1.1 – Спутниковый снимок озера Ильмень.

Площадь бассейна озера Ильмень составляет 67,2 тыс. км<sup>2</sup>. Однако стоит отметить, что площадь Ильменя непостоянная в виду больших колебаний уровня воды. Основные притоки озера Ильмень – Мста, Ловать с Полой и Шелонь. На рисунке 1.1 изображена схема речного бассейна реки

Волхов. На рисунке 1.1 изображен спутниковый снимок озера Ильмень. Ильмень относится к системе Великих озер Европы.



Рисунок 1.2 – Схема бассейна реки Волхов.

Волхов – единственная река, вытекающая из озера Ильмень. Протекает по Приильменской низменности, затем впадает в Онежское озеро. Река является судоходной. Длина составляет 224 км. Главные притоки: справа — Вишера, Пчѣвжа, Осуя; слева — Кереть, Тигода. Река является зарегулированной. На реке построена Волховская ГЭС в г. Волхов.



Рисунок 1.3 – Река Волхов

## 1.2 Характеристика рельефа и ландшафтов

Согласно физико–географическому районированию страны территория водосборного бассейна р. Волхов принадлежит Русской равнине, в основании которой лежит древний кристаллический фундамент Русской платформы.

Общие черты рельефа predetermined принадлежностью к древней докембрийской платформе. На этой территории в доледниковый период образовался рельеф, представлявший собой ряд невысоких ступенчатых плато и низин, разделённых уступами и названных по возрасту слагающих их пород: Кембрийская низина, Ордовикское плато, Девонская низина, Карбоновое плато.

Для Девонской низины характерно возрастание абсолютных отметок в юго-восточном направлении. В ее пределах выделяется ряд значительных впадин (Холмская, Ильменская и Грузинская котловины) и повышений.

Современный характер поверхности возвышенностей связан главным образом с ледниковой и водно-ледниковой аккумуляцией и имеет вид

холмисто-грядового моренного ландшафта, камов, озов и других форм высотой в среднем около 40 м. Распространены здесь карстовые воронки, диаметром 20-30 м, сухие русла и карстовые озера. Отметки поверхности земли в среднем составляют 50 – 100 м, максимальные - 250 – 300 м над уровнем моря.

В восточной части бассейн ограничивают Судомская, Лужская и Бежаницкая возвышенности, которые представляют собой сложное чередование конечно-моренных холмов, гряд и камовых холмов с относительными высотами до 100-125 м.

Наиболее значительными понижениями рельефа являются Приильменная и Ладожско-Волховская низменности, с отметками 20–50 м.

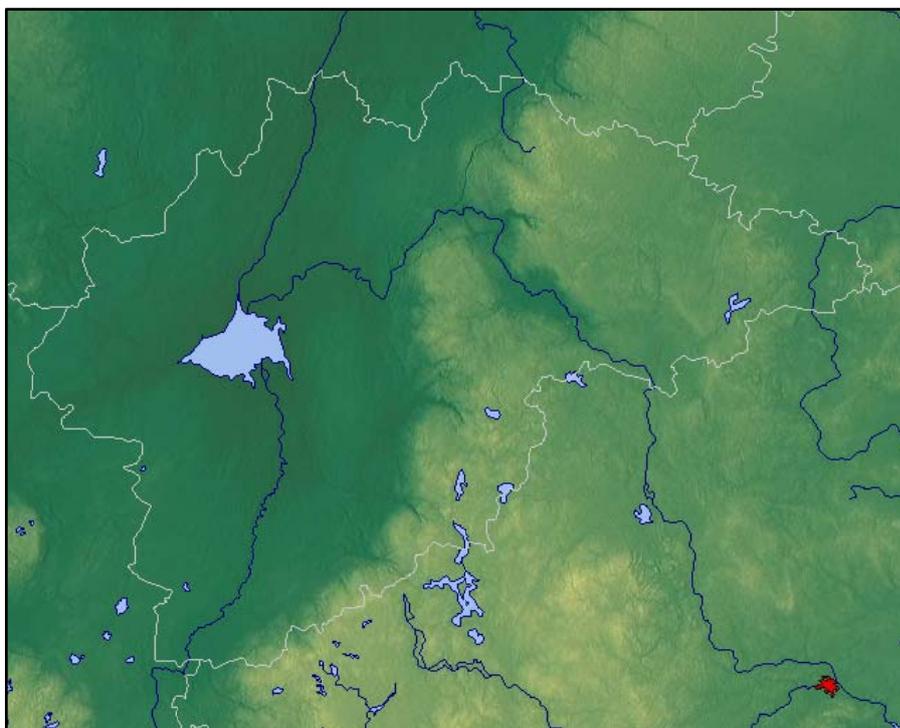


Рисунок 1.4 – Рельефная карта Новгородской области.

### 1.3 Геологическое строение

Территория бассейна Волхова целиком расположена в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными. Осадочные коренные образования представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщами девона, карбона, ордовика, кембрия.

Девонские отложения представлены средним и верхним отделами. Они развиты на территории средней части бассейна в пределах Новгородской и Псковской областей. Породы отличаются большой пестротой литологического состава: песчаники, алевролиты, глины, мергели, известняки, доломиты.

Каменноугольные отложения представлены нижним и средним отделами. Развиты в юго-восточной части бассейна в пределах Новгородской и Тверской областей. Эти отделы карбона представлены известняками и доломитами, и лишь в основании разреза залегают пески, алевролиты, глины мощностью до 20-50 м. Общая мощность до 200 м. Карбонатные породы часто огипсованы.

Четвертичные отложения имеют повсеместное распространение, представлены нижним, средним, верхним и современным отделами. Для них характерна пестрота литологического состава. Колебание их общей мощности обусловлено характером рельефа дочетвертичных пород и неравномерностью ледниковой аккумуляции. На возвышенных водоразделах мощность колеблется от 1 до 10 м, а в переуглублённых погребённых долинах и эрозионных впадинах достигает 80-200 м.

Современные отложения представлены озёрными и аллювиальными формами. Образование их связано с образованием озёр, рек и ручьёв. Болотные отложения занимают понижения между моренными и флювиогляциальными холмами и развиты на торфяных почвах, где мощность торфа местами достигает 6-7 м.

Карта пород дочетвертичного возраста в бассейне р. Волхов показана на рисунке 1.3.

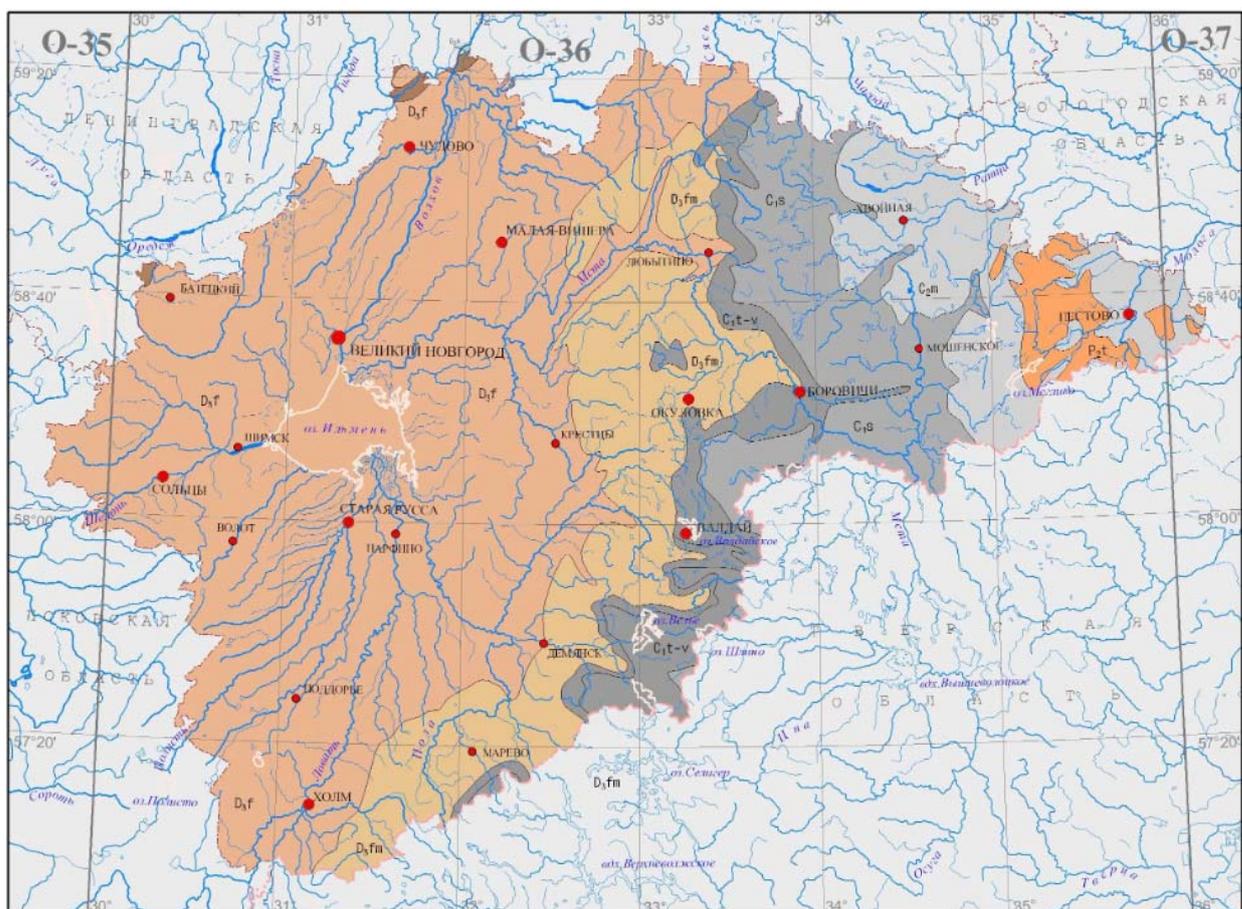


Рисунок 1.5 - Карта пород дочетвертичного возраста в бассейне р. Волхов

#### 1.4 Социально-экономическая характеристика территории речного бассейна

Территория бассейна реки Волхов (без Ленинградской области) площадью 74,4 тыс. км<sup>2</sup> составляет 23% территории бассейна р. Невы. Всего на территории проживает 987,29 тыс. человек. В городах и посёлках городского типа (на 01.01.2012 г.) – 698,57 тыс. человек или 71 % всего населения бассейна.

Средняя плотность населения в границах рассматриваемой территории составляет 13,28 чел./кв. км. Население размещается неравномерно.

Учитывая, что большая часть населения сконцентрирована в городах и посёлках городского типа, плотность сельского населения по территории составляет в среднем 3,9 чел/км<sup>2</sup>.

В бассейне реки Волхов крупными городами являются: г. В. Новгород – 227,13 тыс. чел., г. Великие Луки – 98,55 тыс. чел., г. Вышний Волочек – 51,26 тыс. чел., г. Боровичи – 54,73 тыс. чел., г. Старая Русса – 32,24 тыс. чел., г. Удомля – 30,95 тыс. чел.

Наиболее сложной социальной проблемой является ухудшение демографической ситуации – за период с 1990 г. численность населения региона уменьшилась более, чем на 6%, в Псковской области сокращение более 12%.

Система расселения в бассейне структурируется по типу традиционно промышленно-аграрного расселения с высокой хозяйственной освоенностью. Новгородская область расположена большей частью в бассейне реки Волхов и притоков озера Ильмень, ее экономико-географическое положение определяется межстоличным размещением, тяготением к транспортной оси Москва – Санкт-Петербург.

В составе области из 21 района 16 расположены практически полностью на территории водосборного бассейна р. Волхов и два района – частично (Мошенский и Демянский). На рассматриваемой территории разместились 9 городов, среди которых Великий Новгород (227 тыс. чел.), Боровичи (54 тыс. чел.), Старая Русса (32 тыс. чел.), Валдай (17 тыс. чел.), Чудово (16 тыс. чел.) и 5 поселков городского типа. Административный центр области – Великий Новгород. По уровню экономического развития область занимает срединное положение среди регионов России и Северо-Запада.

Ведущие отрасли промышленности – легкая, машиностроение и металлообработка. В регионе выпускают хлопчатобумажные ткани, трикотажные изделия производится фанера и деревянные строительные детали, развита стекольная промышленность. Имеются предприятия пищевой промышленности и производства строительных материалов. На территории бассейна расположена крупная электростанция федерального уровня — Калининская АЭС в г. Удомля

(установленная мощность 3000 МВт, входит в состав ОАО «Концерн Росэнергоатом»), а также Вышневолоцкая ТЭЦ, подчинённая ТГК-2. Большая часть вырабатываемой энергии поставляется на оптовый рынок электроэнергии.

Животноводство специализируется на мясомолочном направлении, растениеводство – на выращивании ржи, овса, картофеля, кормовых трав. По валовому сбору льноволокна область занимает первое место в стране. Сельскохозяйственные угодья занимают около 29% территории области. Разводят крупный рогатый скот, свиней, овец и коз.

## 1.5 Почвы

Территория бассейна Волхова находится в таёжно-лесной зоне подзолистых почв, которые в свою очередь подразделяются на два основных подтипа: подзолистые и дерново-подзолистые, смена подтипов имеет общее направление с севера на юг.

Почвообразующей породой преимущественно являются моренные отложения, имеющие различный механический состав почв, от песков до глин.

В Новгородской области наибольшее распространение получили дерново-подзолистые разновидности подзолистых почв. Юго-западная часть Приильменской низины в основном сложена карбонатно-валунными суглинками. Здесь распространены дерново-карбонатные почвы. Они отличаются хорошо развитым перегнойным горизонтом, отсутствием подзолистого горизонта и сравнительно тяжелым механическим составом. На восточном побережье оз. Ильмень распространены аллювиально-луговые почвы. Волхов-Ильменская низменность к северу от оз. Ильмень сложена, главным образом, ленточными глинами. Здесь широко распространены

подзолисто-глеевые, торфяно-глеевые почвы. Супесчаные и песчаные отложения, а также валунные суглинки широко распространены в Предвалдайской полосе (западная часть Валдайской гряды). На этих отложениях формируются подзолистые и болотные почвы.

Для Валдайской гряды типичен ландшафт конечных морен, который обуславливает значительную пестроту песчано-образующих пород. Преобладают дерновые, дерново-подзолистые и сильноподзолистые почвы различного механического состава.

Влагозапасы в почво-грунтах находятся в прямой зависимости от механического состава и глубины залегания грунтовых вод. Средняя глубина промерзания колеблется в пределах 30–60 см. Наибольшая глубина промерзания за период наблюдений 140 см (1953–54 г., г. Боровичи). Наименьшее промерзание почвы – 20–30 см. Полное оттаивание почвы обычно наблюдается в конце апреля.

## 1.6 Растительность

В ботанико-географическом отношении территория бассейна Волхова относится к Евразийской хвойной лесной зоне (средней и южной тайги), где преобладают леса с господством тёмно-хвойных пород: ели, сосны, лиственницы. Они покрывают основную часть территории бассейна.

Еловые леса приурочены к водоразделам с суглинистыми и супесчаными почвами. На более лёгких песчаных и супесчаных почвах широко распространены сосновые леса. Помимо хвойных лесов, большие площади здесь занимают и мелколиственные леса из берёзы, осины, ольхи. В большинстве случаев это вторичные леса, возникшие вместо вырубленных или погибших от пожара хвойных лесов. По берегам р. Волхов встречаются дубравы.

Около 30% территории бассейна занимают болота и заболоченные земли. Сильной заболоченностью отличается Приильменская низина. В

пределах водосборного бассейна преобладают болота с умеренным минеральным питанием (олиготрофные и мезотрофные) моховые и торфяно-моховые.

По поймам рек и озёр получили развитие пойменные луга, для которых характерен следующий состав растительного покрова. В наиболее длительно заливаемых участках обычны заросли хвощей, крупных осок, канареечника; в приматериковой части – манника; на средних уровнях пойм развиваются пышные разнотравно–злаковые луга с обилием белой полевицы, костра, лисохвоста, тимофеевки, луговой овсяницы; из бобовых – клевер, мышиный горошек, чина; из разнотравья – тысячелистник, подмаренник, герань и др. В прирусловой части поймы обычны ивняки. Древесная растительность в большинстве пойм сведена и заменена сенокосами, лугами и пастбищами.

За пределами пойм расположены материковые луга, подразделяемые на суходольные и низинные. Их травостой флористически богаче пойменных.

### 1.7 Фауна

Животный мир водосборного бассейна Волхова богат и многообразен.

Формирование современной фауны происходило за счет обитателей таежной зоны и лесостепи.

На всей территории бассейна охотниками эксплуатируются ресурсы 30 видов зверей и более 50 видов птиц. К основным видам охотничьих животных и птиц, обитающих в лесах бассейна, относятся: барсук, белка, волк, заяц-беляк, заяц-русак, куница, лисица, енотовидная собака, медведь, рысь, кабан, лось, олень, косуля, глухарь, тетерев, рябчик, белая куропатка.

На озерах, в реках и на болотах встречаются бобр Европейский, бобр Канадский и ондатра, по берегам рек и озер выдра и норка.

Над территорией бассейна проходят трассы массовых миграций водоплавающих птиц (пролетный Балтийский путь), здесь много мест массового гнездования с наибольшей концентрацией в период миграции.

Все реки, озёра и водохранилища бассейна р. Волхов являются водоёмами высшей, первой и второй категории рыбохозяйственного водопользования.

Озеро Ильмень имеет обширную пойму, наибольших размеров она достигает в северо-восточной и юго-восточной частях и в дельтах р. Ловать, Мста, Пола, Ниша. Ежегодно затапливаемая в весенний период пойма является нерестово-выростными угодьями, где обеспечивается естественное воспроизводство рыб. Эффективность воспроизводства рыбы зависит от продолжительности затопления пойменных угодий. Озеро Ильмень является доминирующим водоёмом промышленного рыболовства. На его долю приходится 80 - 90% общего улова в бассейне.

Основное промысловое значение имеют лещ, судак, щука, синец, плотва, снеток. Промысловое рыболовство в реках, впадающих в оз. Ильмень, ведётся только в устьевых их частях.

В малых водоёмах бассейна обитают более 30 видов рыб. Малые озёра и реки бассейна характеризуются средней биологической продуктивностью, которая увеличивается с севера на юг. Ядро ихтиоценоза составляют 2-3 вида, чаще всего окунь (33%), плотва (33%), лещ (13%), щука (9%). На малых водоёмах бассейна промышленное рыболовство осуществляется, в основном, в озёрах: Велье, Валдайское, Меглино, Пирос, Шлино.

С целью расширения промышленного воспроизводства запасов волховского сига в естественных водоёмах в бассейне в 1927 г. был построен Волховский рыбоводный завод. С 1963 г. завод выпускает в Ладожское озеро сеголетков волховского сига. Выпуск молоди осуществляется в р. Волхов и оз. Ладожское. Рыбоводный завод пересаживает производителей сига в верхний бьеф водохранилища Волховской ГЭС.

В целях компенсации ущерба рыбному хозяйству, нанесённого строительством Псковской ГРЭС на р. Шелони, в 1997 г. построено тепловодное хозяйство по выращиванию товарной рыбы мощностью 100 т рыбы в год.

## 2.1 Температурный режим

Климат территории бассейна реки Волхов является переходным от морского к континентальному.

Температура воздуха. Средняя многолетняя годовая температура воздуха изменяется от 3,6°С в северной части бассейна до 4,9°С в южной. Наиболее тёплым месяцем является июль (17,1-17,8°С), наиболее холодными – январь и февраль (минус 7,7 - минус 9,9°С).

Абсолютный максимум температуры воздуха составляет от 33°С до 35°С. Абсолютный минимум - от минус 44°С до минус 54°С.

Внутригодовое распределение температуры воздуха в бассейне Волхова представлено в таблице 2.1 среднемесячных температур по метеостанциям.

Абсолютный максимум температуры поверхности почвы изменяется по бассейну в пределах 52–56°С, абсолютный минимум – минус 43–57°С. Наибольшая за зиму глубина промерзания почвы наблюдается в марте и в среднем составляет 56 – 81 см, достигая в суровые малоснежные зимы 108 – 135 см.

Средняя многолетняя годовая величина упругости водяного пара на рассматриваемой территории составляет 7.8–8.1 мб.

Наибольшие месячные величины парциального давления наблюдаются в июле (14,9–15,1 мб), наименьшие (2,9–3,2 мб) – в январе–феврале.

Относительная влажность воздуха на территории бассейна изменяется в течение года от 65– 80 % в мае–августе до 82 – 89% в осенне-зимний период.

Таблица 2.1 – Среднемесячные температуры воздуха по метеостанциям в бассейне р. Волхов, °С

<b>Метеостанция</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Год</b>
г.Новая Ладога	-9,1	-9,1	-5,2	2,5	9,2	14,5	17,3	15,7	10,4	4,4	-1,2	-6,1	3,6
г.В.Новгород	-8,7	-8,7	-4,3	3,3	10,4	15,2	17,3	15,4	10,3	4,2	-0,9	-5,9	4,0
г.Валдай	-9,9	-9,3	-4,6	2,9	10,2	14,5	16,7	15,2	9,8	3,7	-1,7	-6,9	3,4
г.Великие Луки	-8,6	-7,7	-3,2	4,9	11,5	15,7	17,1	15,8	10,7	5,1	-0,1	-5,2	4,7
г.Старая Русса	-7,7	-7,6	-2,8	5,0	11,8	16,0	17,8	16,0	10,8	5,2	-0,5	-4,8	4,9

## 2.2 Осадки

Территория относится к зоне избыточного увлажнения.

Среднемноголетнее годовое количество осадков с поправками на смачивание изменяется в пределах территории от 600 мм до 709 мм. Наименьшее месячное количество осадков, как правило, наблюдается в феврале-марте и составляет 27 – 36 мм, наибольшее – в июле-августе 72 – 90 мм.

В таблице 1.2 представлено внутригодовое распределение осадков показано месячных сумм осадков по метеостанциям.

Таблица 2.2 – Месячные осадки по метеостанциям в бассейне р. Волхов, мм.

<b>Метеостанция</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Год</b>
г.Новгород	32	27	29	39	45	67	78	77	66	52	51	37	600
г.Валдай	37	32	36	45	56	80	90	83	78	69	57	46	709
г.Великие Луки	32	30	30	35	54	70	86	77	55	48	45	40	602
г.Старая Русса	39	31	33	37	49	72	75	72	60	58	52	45	623

Снежный покров появляется в среднем с 26 октября по 6 ноября.

Устойчивый снежный покров обычно образуется через 3–4 недели после его появления. Разрушение устойчивого снежного покрова в среднем происходит в период 3–7 апреля. Общая средняя продолжительность периода со

снежным покровом изменяется от 120 до 140 суток. Максимальная за зиму высота снежного покрова, как правило, наблюдается в марте и в среднем на открытых участках составляет 0,3 – 0,5 м.

Запасы воды в снеге наибольших значений достигают к моменту снеготаяния. На большей части территории средний из наибольших запасов воды в снежном покрове в поле составляет 100 мм, в бассейнах рек Ловати, Полисти и Шелони – не превышает 70 мм. Значительное увеличение запаса воды в снеге наблюдается в лесистой и на пересеченной местности (до 150 мм).

Средние многолетние годовые величины суммарного испарения с суши изменяются с севера на юг от 350 мм до 550 мм. Средняя многолетняя годовая величина испарения с водной поверхности изменяется по территории бассейна от 568 мм до 585 мм. Наибольшие месячные величины испарения с водной поверхности, как правило, наблюдаются в июне - июле и составляют 122– 131 мм. Средние многолетние величины испарения с поверхности водоемов приведены в таблице (Таблица 3).

Карта-схема распределения основных метеорологических показателей показана на рисунке 1.2.

Таблица 2.3 – Расчетные средние многолетние величины испарения с водной поверхности (мм)

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма за сезон
Боровичи	22	99	113	121	96	63	32	22	568
Новгород	25	106	112	131	99	62	31	11	577
Старая Русса	24	106	108	120	98	68	36	25	585
Валдай	48	84	102	117	108	63	34	19	575

## 2.3 Ветер

Над территорией в течение года наблюдаются ветры западного, юго-западного, юго-восточного и южного направлений. Повторяемость ветров этих направлений, как правило, составляет более 63%. В долинах рек преобладают ветры, дующие вдоль долин. Наименьшие скорости наблюдаются в лесных районах. Вблизи крупных водоемов скорость ветра возрастает. Средняя многолетняя годовая величина скорости ветра составляет 3,3-4.4 м/с. Наименьшие месячные скорости ветра, как правило, наблюдаются в июле – августе и составляют 2.6–4.4 м/с. За год в среднем наблюдается от 1 дня (м/с Валдай) до 11 дней (м/с Новгород) с сильным ветром ( $V \geq 15$  м/с).

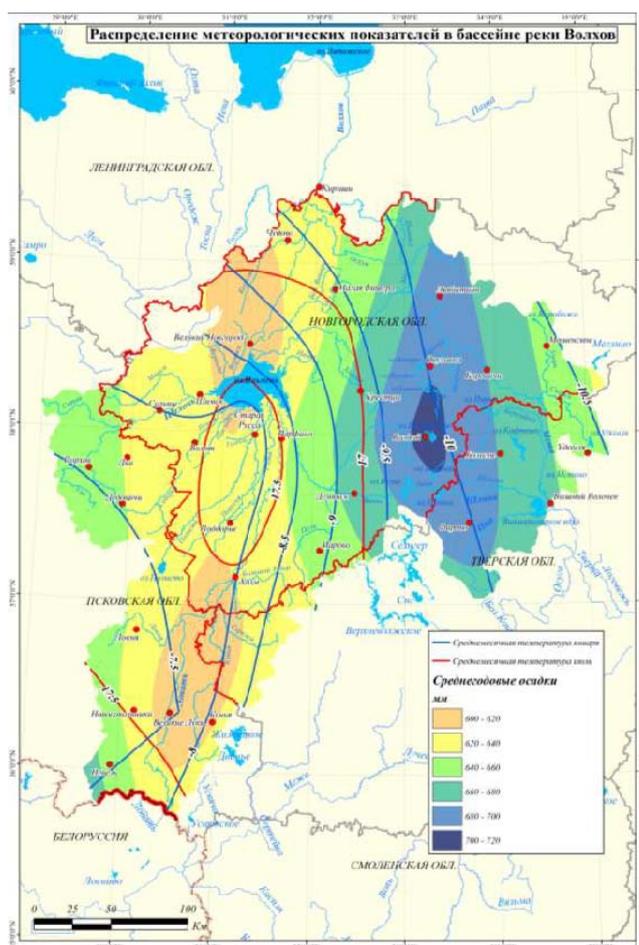


Рисунок 2.2 - Карта-схема распределения основных метеорологических Показателей в бассейне реки Волхов.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ РЕЧНОГО БАССЕЙНА

#### 3.1 Гидрологическая изученность бассейна реки волхов

В бассейне реки Волхов (включая бассейн озера Ильмень) в период с 1880 г. по 2010 г. действовало 310 водпостов на реках, из них 153 стоковых пункта. Часть постов были временные, часть постов закрыты в 1990-е годы. На карте-схеме (Карта 1.6) приведено местоположение действующих гидрологических постов на реках бассейна р. Волхов и на оз. Ильмень.

Приток к озеру Ильмень в основном определяется стоком 4-х основных рек. Наблюдения в створах р. Мста – д. Девкино, р. Пола – д. Налючи, р. Ловать – г. Холм и р. Шелонь – с. Заполье освещают 75 % площади бассейна озера Ильмень.

В собственном бассейне р. Волхов наблюдения за стоком воды проводились на 23 створах, а на самой р. Волхов – на 12 створах. Однако наиболее длительный ряд имеется у пристани Гостинополье (с 1926 г. – створ Волховской ГЭС). Стоковый ряд в этом створе имеется за период с 1881 по 2010 гг. Волхов является зарегулированной рекой. В таблице 3.1 представлены характеристики Волховской ГЭС.

Таблица 3.1 – Характеристики Волховской ГЭС

Установленная мощность ГЭС	86 МВт
Среднемноголетняя выработка электроэнергии	382,5 млн кВт*ч
Средний многолетний расход воды	580м <sup>3</sup> /с
Расчетный напор	10,5
Регулирующая емкость водохранилища	35,8 млн м <sup>3</sup>
Длина водосливной плотины	210 м
Пропускная способность плотины	1418 м <sup>3</sup> /с

Наблюдения за уровнем воды на оз. Ильмень начаты: в 1931 г. на водпостах Войцы, Ужин, Песчаное, с 1944 г. – Коростынь, а с 1881 г. наблюдения за уровнем проводятся на посту р. Волхов – г. Новгород, расположенном в 7 км от истока из озера, который также был использован для характеристики уровня режима оз. Ильмень: уровни в озере выше уровней у г. Новгорода в среднем на 0,15 м.

Наблюдения за уровнем воды р. Волхов на участке от истока до Волховской (VI) ГЭС проводились по 20 постам, из них наиболее длительные ряды наблюдений имеются по 3 водпостам: у г. Новгорода, ст. Волхово (перенесен на 13 км ниже по течению 01.01.1993 – р. Волхов- пос. Краснофарфорный) и прист. Гостинополье, остальные посты действовали непродолжительный период.

Все данные по водпостам на озере Ильмень и р. Волхов приведены к Балтийской системе высот с пересчетом уровней прежних лет в действующую систему.

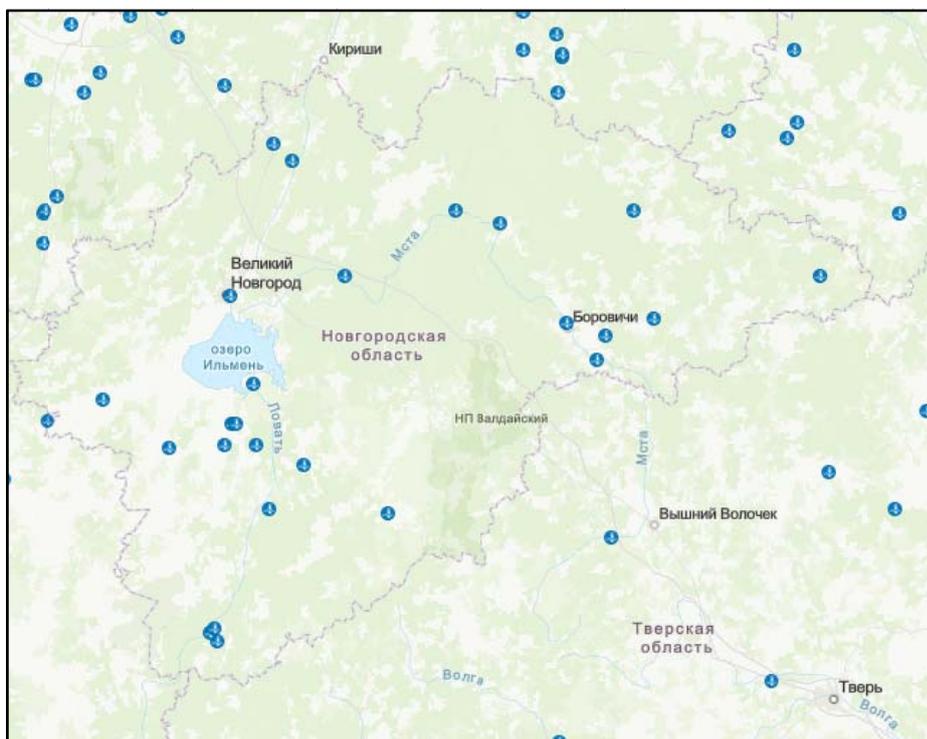


Рисунок 2.1 – Фрагмент карты-схемы расположения гидрологических постов в Новгородской области [1].

### 3.2 Гидрогеологическая изученность

Гидрогеологические условия бассейна р. Волхов тесно связаны с геологическим строением. Структурное положение определяет мощность осадочного чехла, полноту геологического разреза, наклон горизонтов, состав и водообильность пород.

Пресные подземные воды Псковской области распространены в верхней части осадочного чехла и прослеживаются до глубины 200-400 м, сокращаясь в зонах разгрузки до 50-100м. Воды, как правило, напорные, напор увеличивается в юго-восточном направлении по мере погружения слоев. Области питания тяготеют к возвышенностям (Судомской, Бежаницкой и др.) и междуречным пространствам. Региональной областью разгрузки подземных вод является оз. Ильмень, местная разгрузка осуществляется речной сетью.

Прогнозные ресурсы пресных подземных вод существенно превышают текущую и перспективную потребность территории в воде питьевого

качества. Все административные районы обеспечены пресными подземными водами.

Степень освоения разведанных запасов составляет около 16%, а потребление пресных ПВ не превышает 2% от величины прогнозных ресурсов. До сих пор не освоено месторождение Дедовичское (участок Дедовичский).

Подземные воды четвертичных отложений используются населением деревень с помощью колодцев и каптированных родников.

В палеозойском чехле выделяется несколько водоносных комплексов. Пресные воды снежско–плавского водоносного комплекса используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения в Куньинском и Великолукском районах. Саргаевско-даугавский водоносный комплекс содержит значительные объемы пресных подземных вод, которыми снабжаются крупные города и поселки области - Невель, Великие Луки, Бежаницы, Локня. Пресные воды арукюласко-швянтотойского водоносного комплекса используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения города Дедовичи.

В центральной и восточной частях области вскрыты солоноватые воды, хлоридные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные сложного катионного состава с минерализацией 5-14 г/дм<sup>3</sup>. Здесь мощность зоны пресных вод уменьшается до 20-70 м в центральной (Порхов, Дно) и 120-160 м в восточной частях области (Бежаницы, Локня, среднее течение р. Ловать). В окрестностях Невеля мощность зоны пресных вод составляет 200-400 м.

В Новгородской области по характеру и интенсивности процессов водообмена, особенностям химического состава и минерализации подземных вод в вертикальном разрезе выделяются три гидродинамические и связанные с ними гидрохимические зоны. Зона интенсивного водообмена охватывает водоносные горизонты и комплексы, находящиеся под активным дренирующим воздействием гидрографической сети, испытывающие влияние современных климатических условий и рельефа и содержащие преимущественно пресные воды. Мощность зоны 200 - 400 м.

Подземные воды региона подразделяются на верховодку, грунтовые (I водоносный горизонт) и артезианские (II водоносный горизонт).

Подземные воды I водоносного горизонта типа поровых, безнапорных (грунтовых) приурочены к пойменным аллювиальным грунтам, болотным отложениям, водно-ледниковым отложениям зоны краевых ледниковых плато, прослоям и линзам песков, супесей в толще морены.

Подземные воды II водоносного горизонта типа порово-трещинно-пластовых, напорных приурочены к прослоям песков в толще верхнедевонских глин нижневоронежского подгоризонта.

Степень освоения разведанных запасов составляет около 20%, а потребление пресных ПВ не превышает 2,2% от величины прогнозных ресурсов.

Тверская область приурочена к северо-западной и западной части Московского артезианского бассейна. Лишь крайняя западная часть области занимает южный склон Балтийского щита и относится к Ленинградскому артезианскому бассейну. В слагающих Московскую синеклизу девонских и каменноугольных отложениях, а на северо-востоке пермских и триасовых, заключены пластовые и пластово-трещинные воды, обычно напорные, иногда самоизливающиеся.

В четвертичных, меловых и юрских отложениях содержатся грунтовые безнапорные или слабо напорные воды, а в местах перекрытия водоносных горизонтов водоупорными породами – напорные. Основную роль в водоснабжении играют воды каменноугольных отложений.

На западе области первостепенная роль принадлежит девонским водам, на северо-востоке пермским. Повсюду большое значение имеют воды четвертичных отложений, широко используемых для сельского водоснабжения.

## 4. ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНОСТИ РЕКИ ВОЛХОВ ПОД КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

### 4.1 Оценка изменений климата

В последние десятилетия изменение климата стало глобальной проблемой, влияющей на экологию и жизнь на планете. В первую очередь это выражается в росте среднегодовой температуры, изменении количества осадков. Что в свою очередь влияет на режим рек и озер. Вопрос оценки влияния климата на водность и режим рек имеет как теоретическое, так и практическое обоснование.

Изменения климата имеют непосредственное влияние на режим рек. Однако, как было ранее сказано река Волхов является зарегулированной. Поэтому вполне возможно, что изменение климата нивелируется техногенным воздействием.

В связи с этим, стали проводиться исследования по изменению климата в Северо-Западном регионе России. Одним из важнейших выводов было то, что изменение климата необходимо учитывать в планировании и разработке стратегий управления рекой Волхов. Это включает в себя контроль уровня воды в реке, создание новых инфраструктурных решений, а также принятие соответствующих мер для охраны экосистем реки Волхов. В целом, изменение климата является серьезной проблемой, которая требует скоординированных усилий для ее решения.

Для оценки влияния климата на общую водность реки Волхов в данной работе анализировались среднегодовые и среднемесячные расходы воды реки Волхов в период с 1945 до 2014 года, климатические данные, полученные на метеостанции Старая Русса (атмосферная температура воздуха (1945-2022 гг.) и осадки (1966-2022 гг.)).

В первую очередь нужно оценить изменение климатических характеристик в исследуемом регионе, наибольшее влияние могут оказывать температура воздуха и осадки. На рисунке 4.1 представлен хронологический график среднегодовой температуры воздуха.

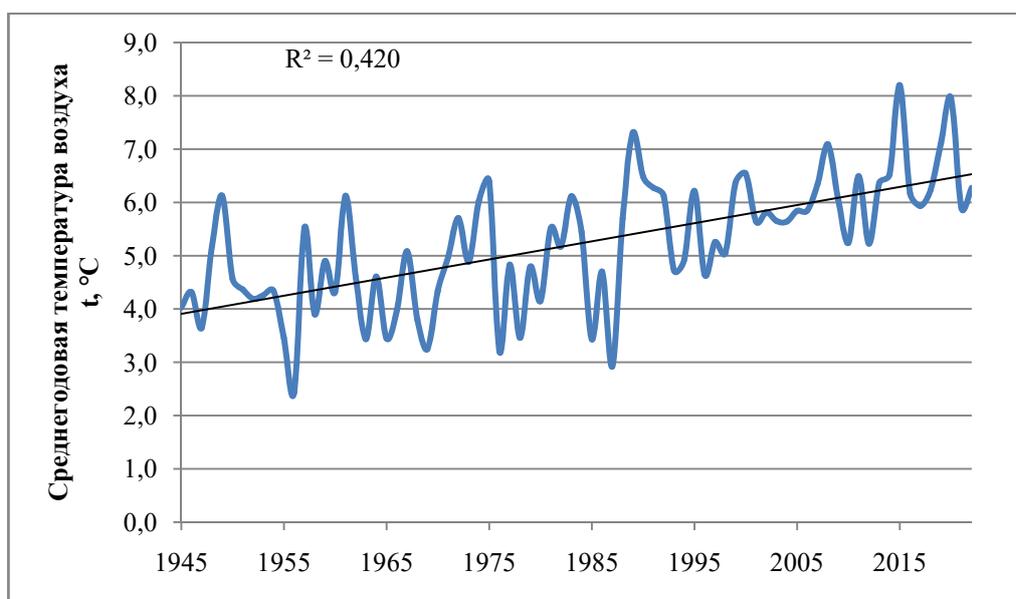


Рисунок 4.1 – Хронологический график среднегодовых температур воздуха МС Старая Русса

На фоне всеобщего глобального потепления, тренд на повышение среднегодовой температуры воздуха – довольно ожидаемая характеристика. В теории изменение климата должно наблюдаться в 80–90-х годы.

Была дана первичная оценка статистических характеристик ряда среднегодовой температуры воздуха. Оценка значимости показала незначимый тренд на рост температуры воздуха. В таблице 4.1 представлены статистические характеристики ряда среднегодовой температуры.

Таблица 4.1 – Оценка значимости линейного тренда

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
78	0.42	0.65	0.09	7.42	1.99	тренд значим

Для того, чтобы определить точку перелома хронологической кривой – была построена нормированная суммарная кривая  $(t_i - t_{\min})/\sigma_t = f(m)$ , где  $t_i$  – среднегодовая температура воздуха в  $i$ -том году;  $t_{\min}$  – минимальная среднегодовая температура воздуха;  $\sigma_t$  – стандартное отклонение для ряда среднегодовых температур;  $m$  – порядковый номер года.

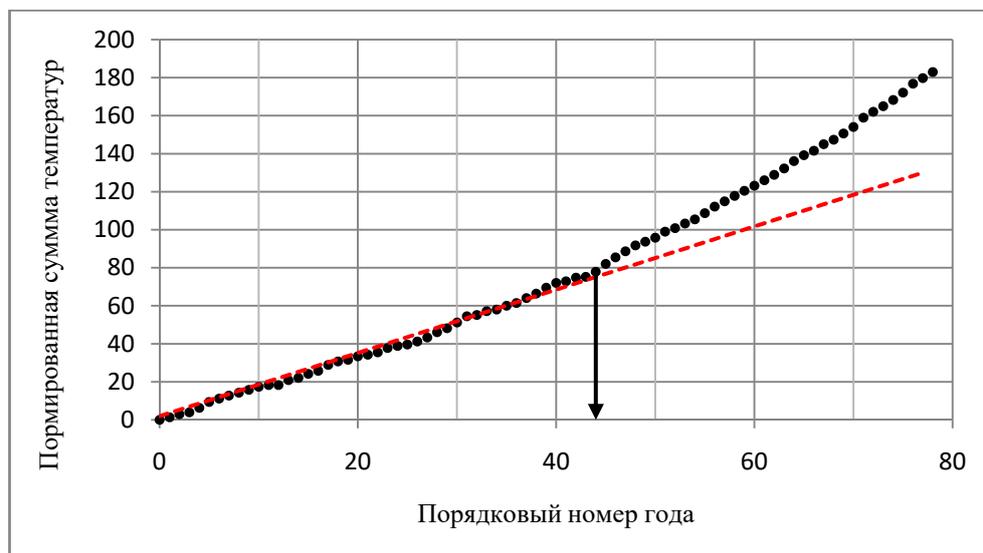


Рисунок 4.2 – Нормированная суммарная кривая среднегодовых температур воздуха МС Старая Русса.

Как видно из графика – точкой перелома является 1988 год. После определения точки перелома составляются хронологические графики для двух отдельных периодов, а также для них выполняется оценка значимости линейного тренда.

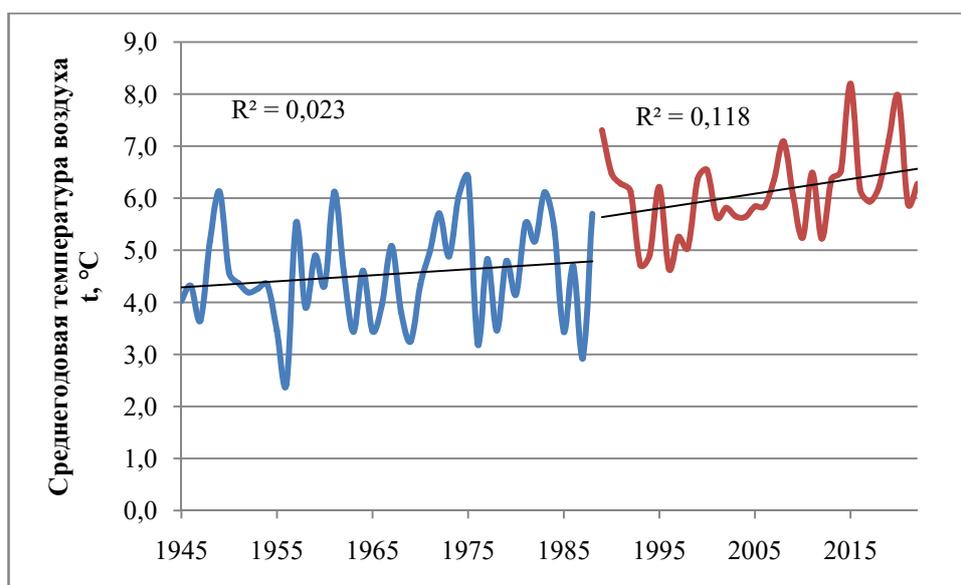


Рисунок 4.3 – Совмещенные хронологические графики за два периода (1945-1988 гг. и 1989-2022 гг.) МС Старая Русса

По графику 4.3 наблюдается рост среднегодовой температуры после 1988 года.

В таблицах 4.2 и 4.3 представлены статистические характеристики рядов температур за два периода.

Таблица 4.2 – Оценка значимости линейного тренда среднегодовых температур воздуха МС Старая Русса (1945-1988 гг.)

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
44	0.024	0.15	0.15	1.03	2.01	тренд не значим

Таблица 4.3 – Оценка значимости линейного тренда среднегодовых температур воздуха МС Старая Русса (1989-2022 гг.)

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
33	0.12	0.35	0.17	2.06	2.03	тренд значим

В результате проверки на значимость тренда выявлено, что период 1945-1988 гг. является стационарным и не предполагает собой значимого

тренда, в отличие от периода 1989-2022 гг., который характеризуется значимым трендом на повышение среднегодовых температур воздуха.

По данным многолетних среднемесячных температур воздуха МС Старая Русса, была построена гистограмма внутригодового хода температуры:

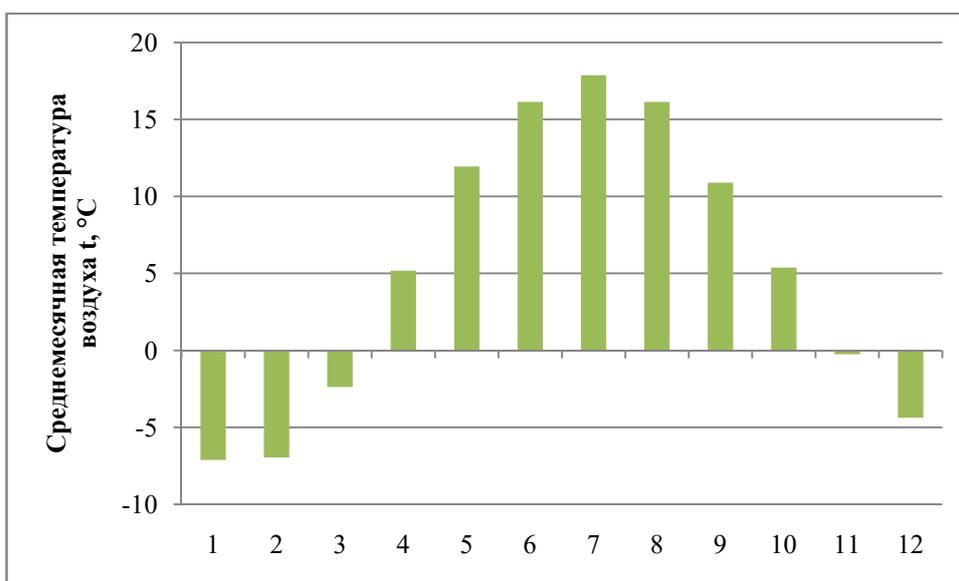


Рисунок 4.4 – Внутригодовой ход среднемесячных температур воздуха за весь период наблюдений

Для детальной оценки изменения температурного режима внутри года, для обоих периодов были построены гистограммы внутригодового распределения температур:

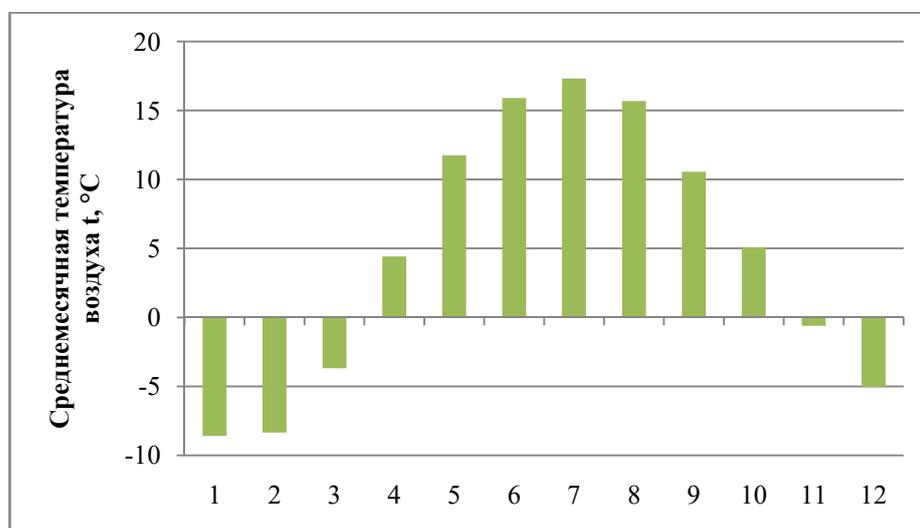


Рисунок 4.5 – Внутригодовой ход среднемесячных температур воздуха за период 1945-1988 гг.

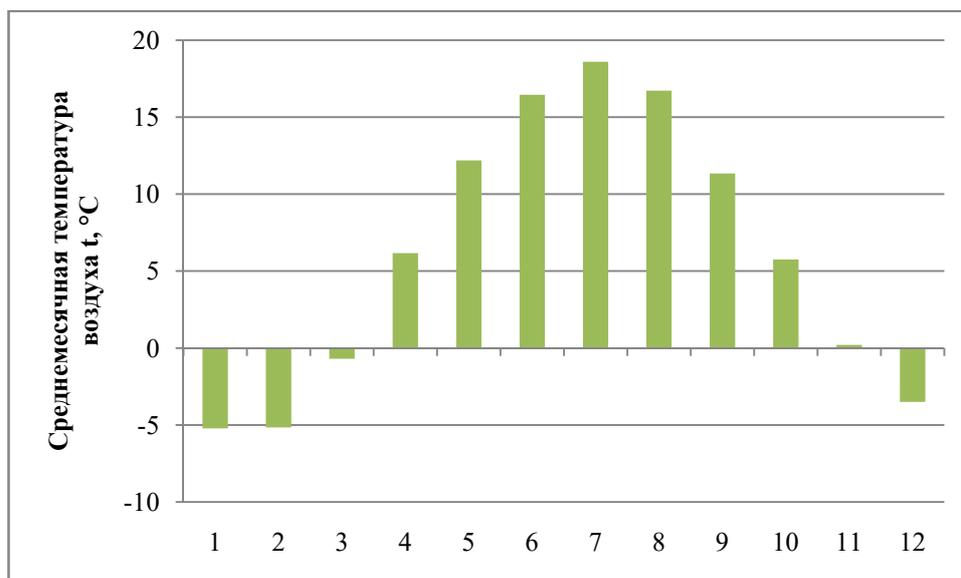


Рисунок 4.6 – Внутригодовой ход среднемесячных температур воздуха за период 1989-2022 гг.

Анализируя климатические изменения внутри года, отмечаем, что в целом, ход температур не подвергся значительному изменению, не считая переноса средних температур ноября из отрицательных значений в положительные. По всем месяцам наблюдается значительное увеличение температуры воздуха. Средняя температура за рассмотренные периоды изменилась с 4,5 °С до 6.1 °С.

Вслед за температурой воздуха анализировались осадки. Для оценки использовались многолетние среднемесячные осадки и суммы осадков за многолетний период наблюдений с 1966 по 2022 годы.

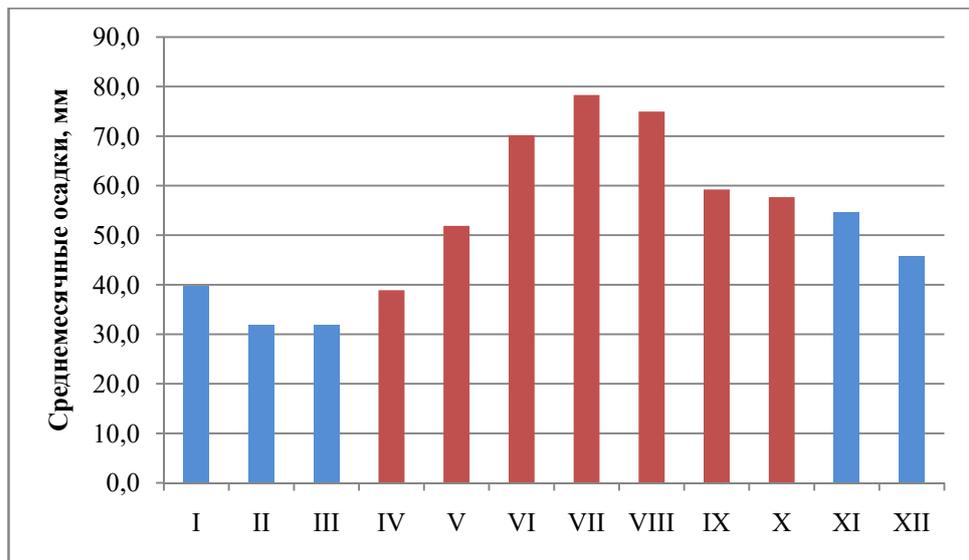


Рисунок 4.7 – Внутригодовое распределение осадков на МС Старая  
Русса

Как видно из гистограммы, жидкие осадки в тёплый период составляют порядка 75-80% от годового значения.

По данным МС Старая Русса был построен хронологический график годовых сумм осадков.

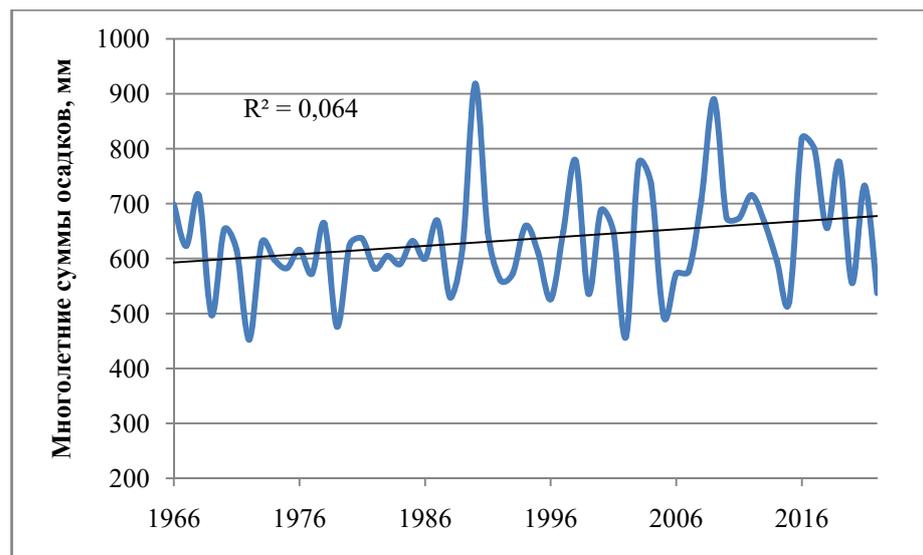


Рисунок 4.8 – Хронологический график сумм осадков МС Старая  
Русса

В таблице 4.4 представлена статистическая оценка ряда данных сумм осадков на мс Старая Русса.

Таблица 4.4 – Оценка значимости линейного тренда

n	R <sup>2</sup>	R	σR	R /σR	t <sub>2α=5%</sub>	значимость тренда
57	0.064	0.25	0.13	1.94	2.00	тренд не значим

Как видно из рисунка 3.7 и таблицы 3.4 – тренд ряда многолетних сумм осадков не подтверждается значимостью, а значит, рассматривать осадки как характеристику, влияющую на изменение водности реки Волхов – не имеет смысла.

#### 4.2 Оценка водности реки Волхов

Река Волхов – это одна из самых больших и важных рек на Северо-Западе России. Река протекает через Ленинградскую область и впадает в Ладожское озеро. Ее длина составляет более 224 километров. Режим реки Волхов изменяется в зависимости от сезонов и количества осадков.

Водный режим реки Волхов характеризуется отчетливо выделяющимися двумя фазами: весеннего половодья и осенне-зимнего паводка и весьма плавным очертанием графика хода расходов и уровня воды. Пик половодья значительно превышает пик осенне-зимнего паводка. Половодье на р. Волхов является наиболее выраженной фазой водного режима. Подъем половодья всегда бывает менее продолжительным, чем спад. Средняя продолжительность подъема составляет 54 суток, тогда как спада – 154. Обычно весенний подъем уровня начинается в конце марта – начале апреля и достигает своего максимума в начале мая. Спад весеннего половодья растягивается от мая до сентября – октября. В конце лета – начале осени отмечаются минимальные расходы воды. Осенне-зимние паводки наблюдаются чаще всего в ноябре – первой половине декабря. С декабря по март происходит понижение уровня реки.

Далее, непосредственно для оценки водности реки Волхов, после установления двух климатических периодов, используются среднегодовые расходы воды, для оценки изменения многолетних расходов воды под влиянием потепления. Был построен хронологический график среднегодовых расходов воды (рис. 4.9) и дана статистическая оценка, представленная в таблице 4.5.

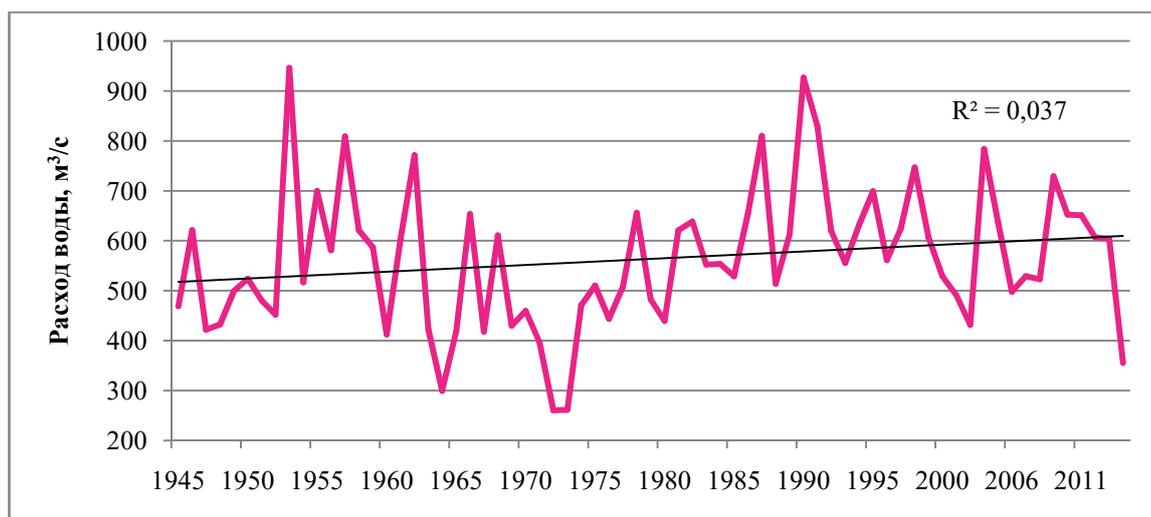


Рисунок 4.9 – Хронологический график среднегодовых расходов воды р. Волхов за весь период наблюдений

Таблица 4.5 – Оценка значимости линейного тренда

n	$R^2$	n	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
69	0.0375	0.19	0.12	1.62	2.00	тренд не значим

Проверка ряда среднегодовых расходов воды на значимость тренда отрицает изменение стационарности ряда, однако, заранее узнав интересующие нас периоды, проведем анализ отдельных рядов.

На рисунке 4.10 представлен хронологический график среднегодовых расходов воды за два периода.

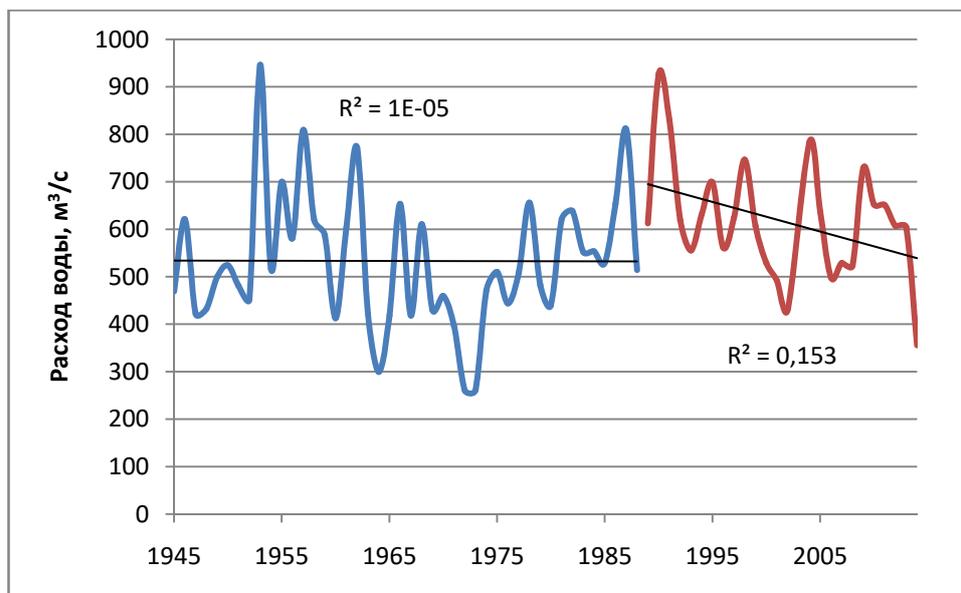


Рисунок 4.10 – Совмещённый хронологический график среднегодовых расходов воды р. Волхов

Первичный анализ графика показывает, что до 1988 года среднегодовые расходы воды стационарны. После 1988 года наблюдается тенденция на уменьшение расходов. В таблице 4.6 и 4.7 показан результат статистической оценки рядов.

Таблица 4.6 – Оценка значимости линейного тренда за период 1945-1988 гг.

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
44	0	0.00	0.15	0.00	2.02	тренд не значим

Далее была произведена оценка значимости тренда среднегодовых расходов воды после 1988 года.

Таблица 4.7 – Оценка значимости линейного тренда за период 1989-2022 гг.

n	R <sup>2</sup>	R	σR	R /σR	t <sub>2α=5%</sub>	значимость тренда
25	0.15	0.39	0.19	2.01	2.06	тренд не значим

В результате проверки за значимость линейных трендов за оба периода оказалось, что тренды не являются значимыми. Однако по рисунку 4.9 можно заметить тенденцию на понижение среднегодовых расходов воды, что обратно пропорционально повышению среднегодовых температур в данный период (1989-2022 гг.).

Для более детального анализа водности реки в различные периоды года, рассмотрим хронологические графики хода среднегодовых температур для самого многоводного месяца года (май) и маловодного (сентябрь). На рисунках 4.10 и 4.11 представлены хронологические графики среднемесячных расходов воды за май и сентябрь. В таблице 4.8 и 4.9 представлен результат оценки значимости рядов.

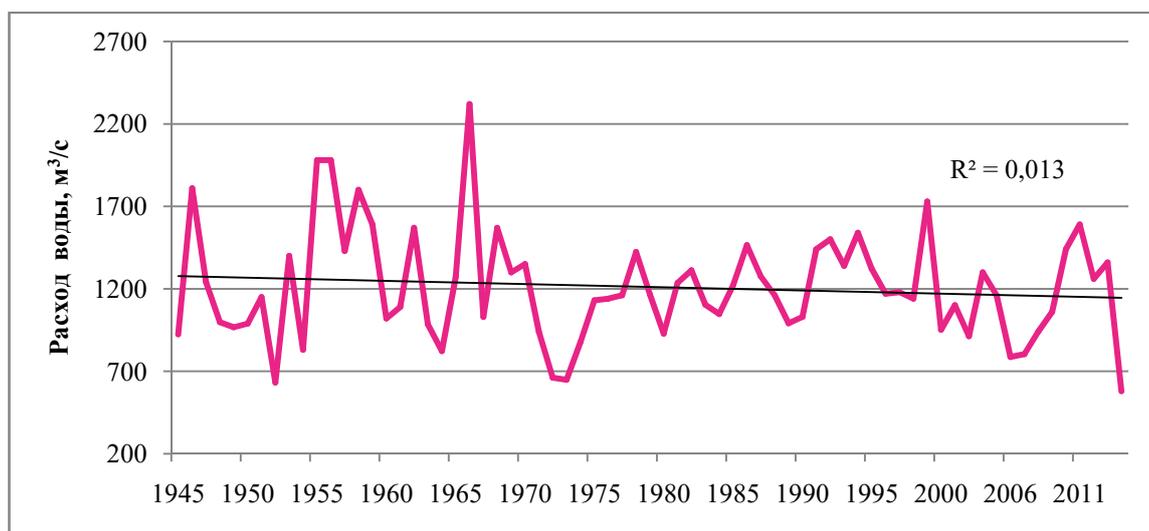


Рисунок 4.11 – Хронологический график среднемесячных расходов воды р. Волхов (май)

По графику 3.10 можно отметить незначительную тенденцию на уменьшение среднегодовых расходов воды.

Таблица 4.8 – Оценка значимости линейного тренда

n	R <sup>2</sup>	R	σR	R /σR	t <sub>2α=5%</sub>	значимость тренда
78	0.01	0.10	0.11	0.88	1.99	тренд не значим

Гипотеза о значимости линейного тренда для ряда среднемесячных расходов воды за май опровергается. Однако отмечается незначительная тенденция на уменьшение среднемесячного расхода.

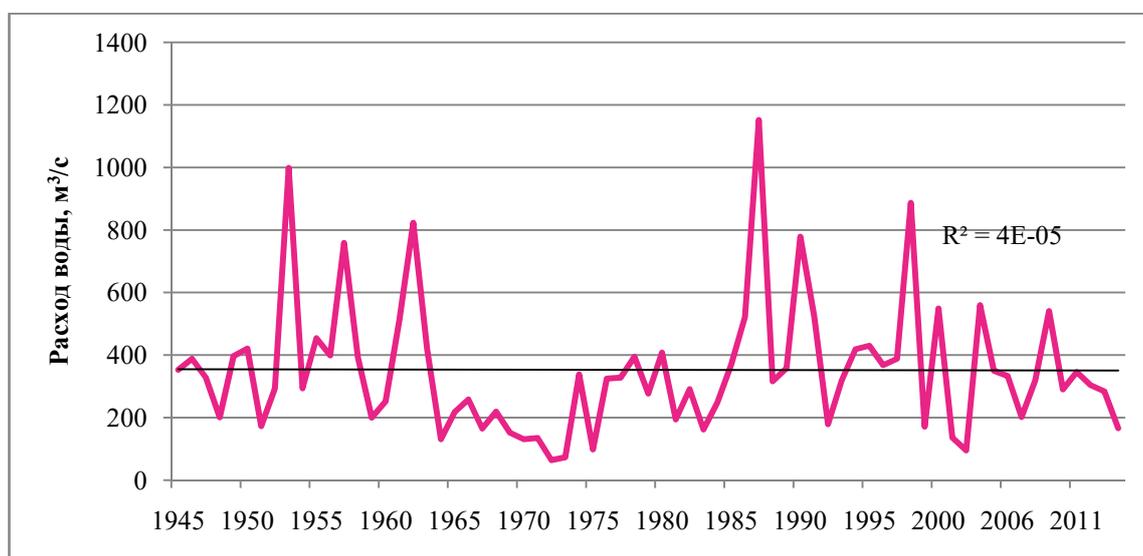


Рисунок 4.12 – Хронологический график среднемесячных расходов воды р. Волхов (сентябрь)

Таблица 4.9 – Оценка значимости линейного тренда

n	R <sup>2</sup>	R	σR	R /σR	t <sub>2α=5%</sub>	значимость тренда
78	0	0.00	0.11	0.00	2.02	тренд не значим

Так же, как и для мая, ряд среднемесячных расходов воды за сентябрь не имеет никакого тренда.

Далее построены совместные хронологические графики расходов воды для многоводного мая и маловодного сентября, разбитые на два периода – до 1988 года и после (рис. 4.13, 4.14).

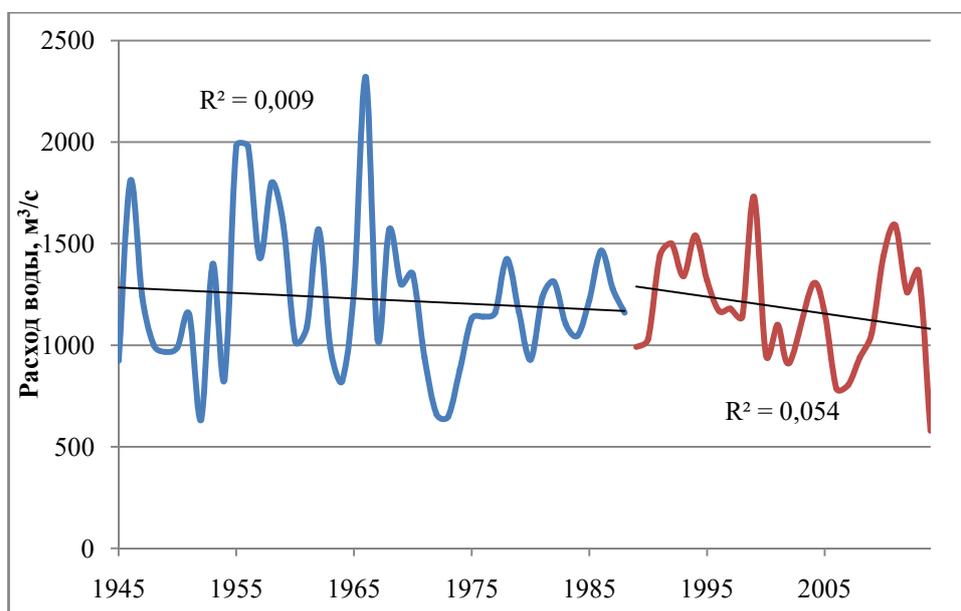


Рисунок 4.13 – Совместный хронологический график среднемесячных расходов воды за май

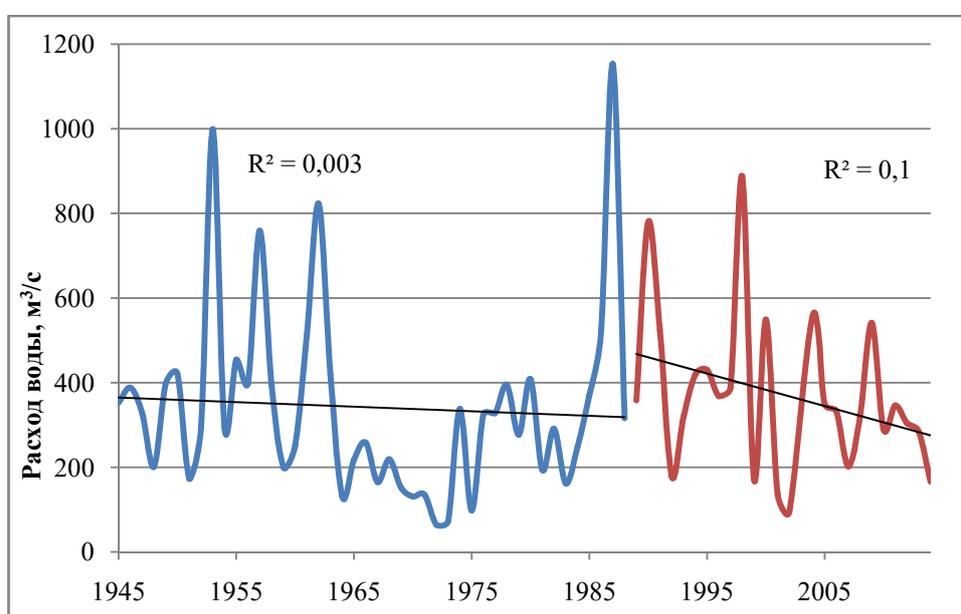


Рисунок 4.14 – Совместный хронологический график среднемесячных расходов воды за сентябрь

На обоих графиках (рис. 3.12 и рис. 3.13) визуально отмечается тенденция на снижение значений в ряду среднемесячных расходов, однако проверка на стационарность этого не подтвердила. В таблице 3.10 и 3.11 представлен результат оценки значимости трендов для мая и сентября соответственно.

Таблица 4.10 – Оценка значимости линейных трендов для рядов среднемесячных расходов воды (май)

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
44	0.009	0.09	0.15	0.62	2.02	тренд не значим

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
25	0.05	0.22	0.20	1.10	2.06	тренд не значим

Таблица 4.11 – Оценка значимости линейных трендов для рядов среднемесячных расходов воды (сентябрь)

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
44	0.0038	0.06	0.15	0.40	2.02	тренд не значим

n	$R^2$	R	$\sigma R$	$ R /\sigma R$	$t_{2\alpha=5\%}$	значимость тренда
25	0.1	0.32	0.20	1.60	2.06	тренд не значим

Для оценки изменения внутригодового распределения стока за многолетний период были использованы среднемесячные расходы воды в период с 1945 по 2022 год. На рисунках 4.15 и 1.16 представлены графики распределения годового стока по месяцам.

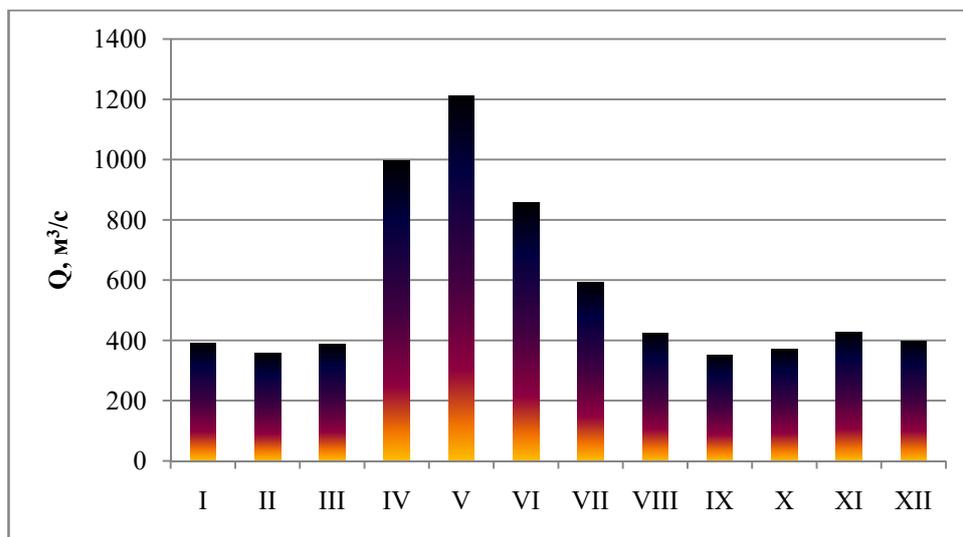


Рисунок 4.15 – Внутригодовое распределение стока за весь период наблюдений

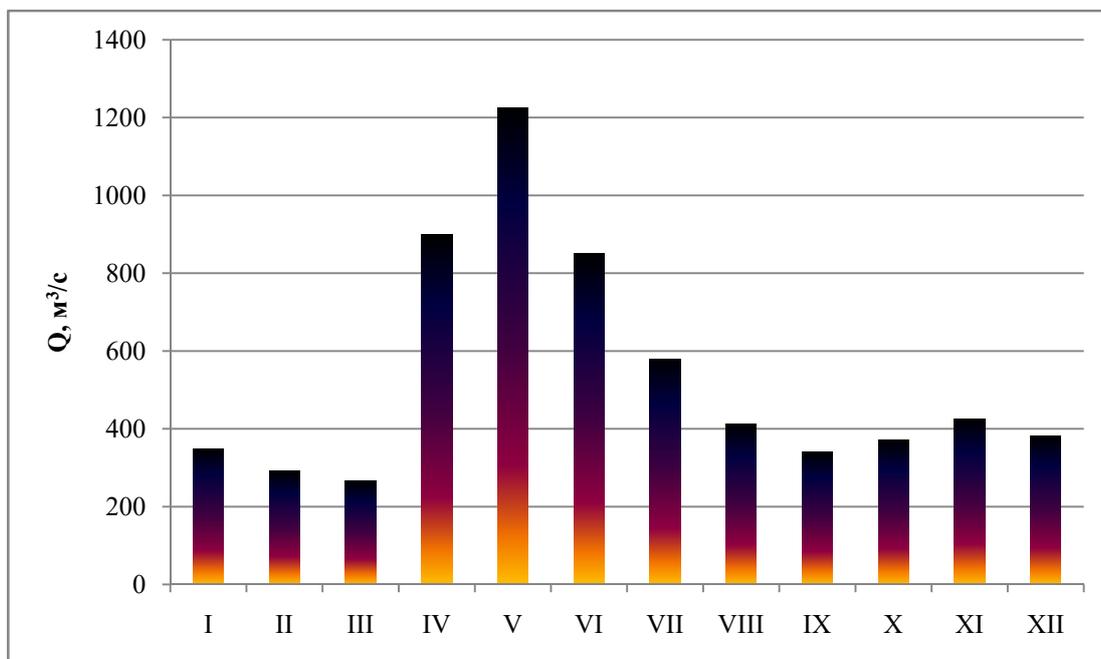


Рисунок 4.16 – Внутригодовое распределение стока за период наблюдений с 1945 по 1988 год

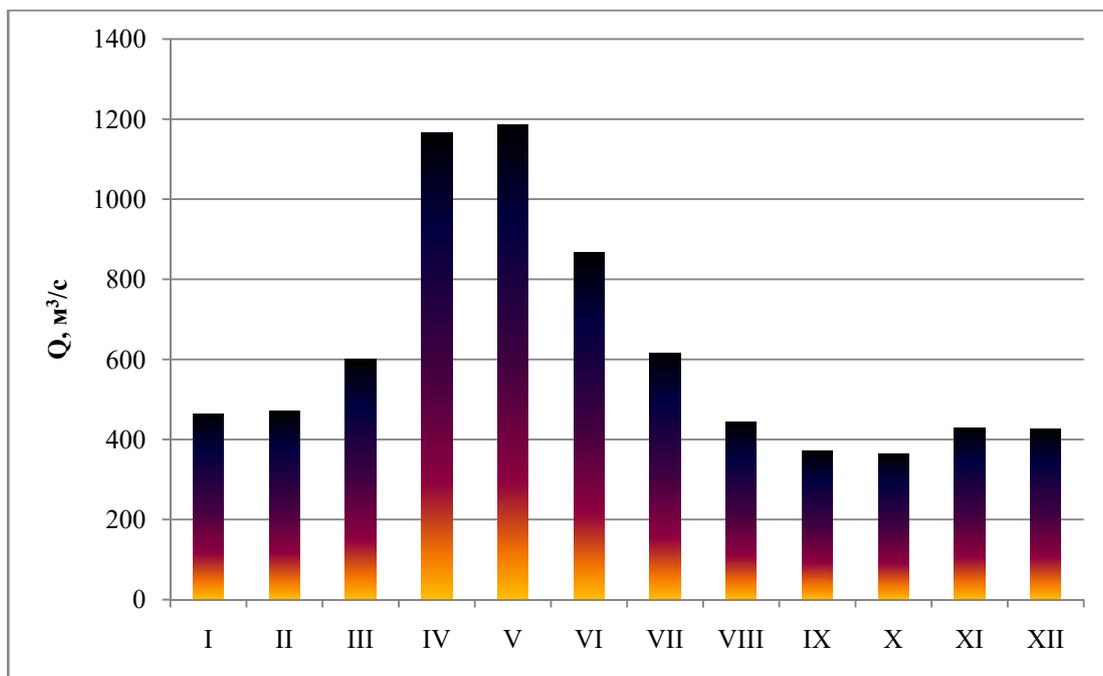


Рисунок 4.17 – Внутригодовое распределение стока за период наблюдений с 1989 по 2022 год

Оценка внутригодового распределения стока за указанные ранее периоды говорит об изменении формы гидрографа во второй период (после 1988 года). Гидрограф становится плавнее, а пик, наблюдавшийся в мае, переходит перераспределяется также на апрель и теперь, половодье на реке Волхов становится длительнее и постепеннее.

Для того чтобы проанализировать влияние климата на водный режим реки Волхов потребовалось для начала проанализировать климатические изменения в районе исследований, которые показали, что ряд среднегодовых температур воздуха не стационарен и имеет положительную тенденцию, а также точку перелома, приходящуюся на 1988 год, после которой значительно увеличивается температура воздуха. В целом, по всем месяцам года наблюдается увеличение средних температур, что ярче всего показывается гистограммой периода наблюдений 1989-2022 гг. (рис. 2.5), где средние месячные температуры ноября перешли в ось положительных ординат.

Оценка количества осадков за данный временной промежуток не показала тенденции на повышение или понижение.

Ход среднегодовых расходов воды на реке Волхов не показал значимости тренда, однако по рисунку 3.9 можно заметить тенденцию на понижение среднегодовых расходов воды, что обратно пропорционально повышению среднегодовых температур в данный период (1989-2022 гг.).

Для более детального анализа изменения водности реки Волхов за рассмотренные периоды были проанализированы среднемесячные расходы воды за многоводный месяц (май) и маловодный месяц (сентябрь). Так же, как и совмещенный график среднегодовых расходов воды за отдельные периоды, графики среднемесячных расходов отрицают значимость тренда, однако визуально заметен тренд на уменьшение расходов воды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы было произведена оценка влияния климата на общую водность реки Волхов. Для этого были анализированы среднегодовые и среднемесячные расходы воды реки Волхов в период с 1945 до 2014 годы, климатические данные, полученные на метеостанции Старая Русса. Проведя анализ изменения водности и климата нельзя сказать однозначно что за последние десятилетия изменения климата оказывают влияние на водность реки Волхов, так как повсеместное влияние глобального потепление имеет место быть, но отсутствие данных наблюдений до введения в эксплуатацию ГТС и антропогенная нагрузка на Волхов не дает в полной мере оценить влияние климата на реку, так как водность реки может подвергаться изменениям, как в течение года, так и за многолетний период, в зависимости от водохозяйственных назначений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Гидрологические посты / [Электронный ресурс] // ArcGIS Online: [сайт]. — URL: <http://extremeclimate.ru/monitoring/гидрологические-посты/> (дата обращения: 15.03.2023).

2 Действующие метеорологические станции сети Росгидромета / [Электронный ресурс]://[сайт].—URL: [http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU\\_RIHMI-WDC\\_2667](http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667) (дата обращения: 15.03.2023).

3 Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов / [Электронный ресурс] // АИС ГМВО: [сайт]. — URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505> (дата обращения: 16.03.2023).

4 Цинкобурова М. Г. Историческая ретроспектива состояния объектов геологического наследия Ленинградской, Псковской и Новгородской областей / Цинкобурова М. Г. [Текст] // Псковский регионологический журнал. Том 18. — Санкт-Петербург: 2022. — С. 80-90.

5 Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад / под ред. Е. Н. Таракановой. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 700 с.

6 Волхов / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Волхов> (дата обращения: 14.04.2023).

7 Задонская, О. В. Изменение уровня режима рек северо-запада / О. В. Задонская [Текст] // сборник тезисов всероссийской научно-практической конференции том 1. — Санкт-Петербург: 2019. — С. 233-235.

8 Калюжный И.Л., Романюк К.Д. Изменения водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов [Текст]

/ Калюжный И.Л., Романюк К.Д. // МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ. — 2010. — № 7. — С. 85-98.

9 Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России [Текст] / Груза Г.В., Ранькова Э.Я.// ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА. — 2003. — № 2. — С. 166-187.

10 Волховская ГЭС / [Электронный ресурс] // Переток.Ру : [сайт]. — URL:<https://peretok.ru/articles/freezone/17486/#:~:text=Основные%20характеристики%20Волховской%20ГЭС%3A%20Регион,Собственник%20ГЭС%20-%20ОАО%20«ТГК-1»> (дата обращения: 22.06.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А.1 – Исходные данные

Таблица А.1 – Температура воздуха МС Старая Русса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	среднее
1945	-7.2	-5.3	-4.9	4.2	9	14	18.8	17.1	9.5	2.8	-1.5	-8.2	4.0
1946	-6.6	-9.4	-4.1	4	10.9	17.7	18.1	16.5	11.4	1	-2.7	-5	4.3
1947	-8.6	-15.3	-6.4	4.6	10.4	17.4	17.2	15.8	11.4	3.3	-2	-4	3.7
1948	-6.7	-10.2	-4.2	5.6	14.8	18.1	16.3	15.8	10.5	4.8	-0.3	-2.4	5.2
1949	-3.1	-4.3	-2	5	13.4	15.1	17	14.6	12.4	5.1	1.6	-1.3	6.1
1950	-15.4	-5.5	-2.9	7.8	11.4	14.8	15.5	14.5	11.7	5.1	0	-2.2	4.6
1951	-9.9	-8.5	-5.1	6.7	8.6	15.5	16	17.6	11.6	3.5	-2.4	-1.2	4.4
1952	-2.6	-5.8	-11.5	5.5	9.2	14.6	17	15.1	9.7	3.8	-0.8	-3.9	4.2
1953	-9.4	-14	-3.7	5.5	10.6	17.4	17.6	15.7	9.6	6.8	-1.1	-3.9	4.3
1954	-11.5	-14.5	-1.1	2.1	12.4	17.6	17.9	15.8	10.7	5.3	-0.6	-2	4.3
1955	-5.9	-7.3	-7.2	-0.9	9.1	13.5	17.3	17.6	13.1	7.5	-2	-13.3	3.5
1956	-9.9	-17.2	-8	0.4	10.3	18.8	15	13.3	8.3	4.5	-3.3	-3	2.4
1957	-3.1	-1.7	-7.2	4.7	12.1	14.2	18.2	15.5	10.5	6	0.9	-3.8	5.5
1958	-7.6	-8.5	-7.1	2.4	11.7	14.1	16.4	14.5	9.8	6.5	1.5	-6.9	3.9
1959	-4	-4.1	-1.9	5.5	10.6	16.4	19.1	17.1	8.6	3.8	-2.7	-9.6	4.9
1960	-11.2	-9.8	-7.2	3.7	12.2	16.9	19.3	15.7	9.1	2.8	-1	1.4	4.3
1961	-4.4	-0.7	0.7	4.2	11.6	18	17.2	14.9	9.8	6.8	1	-5.6	6.1
1962	-3.3	-5.6	-8.1	6.5	11	13	15.8	14.2	10.4	6.6	1.4	-6.8	4.6
1963	-15.3	-11.4	-10.8	2.7	16	13.8	18.5	17.3	12.8	5.7	-0.4	-7.7	3.4
1964	-5.2	-10.4	-7.3	4	11.2	17.4	18.4	15	10.6	7.5	-1.9	-4	4.6
1965	-7.3	-11	-4.2	2.8	8.3	15.8	15.2	14.8	12.4	4.4	-6.6	-3.2	3.5
1966	-13.4	-11.6	-1.3	3.7	13.4	17.3	17.9	15.2	9.2	6.1	-0.5	-8.4	4.0
1967	-14.6	-7.5	1.4	5.2	14.2	15.2	16.7	16.3	12.2	9.1	2.7	-9.9	5.1
1968	-17.1	-8.1	-1.8	4.9	10.4	16.9	14.8	17.3	10.7	3.1	-1.9	-3.6	3.8

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	среднее
1969	-14	-9.5	-7.5	4.6	10.7	14.9	16.8	15.6	10	5	1.1	-8.7	3.3
1970	-12.1	-10.6	-1	5.1	12.1	16.2	17.9	15.8	10.7	4.7	-1	-5.7	4.3
1971	-2.8	-7.5	-3.8	4.1	12.2	15.9	16.6	16.2	10.1	4.3	-1.8	-3.8	5.0
1972	-14.1	-5	-2.1	4.1	11.4	18.2	21.1	19	11.1	4.4	0.3	0.1	5.7
1973	-7.7	-4.2	-1.2	5.6	12	17.1	19.1	15.5	7.6	3.4	-2	-6.6	4.9
1974	-8.1	-0.8	-0.1	2.9	8.3	16	17.5	15.3	12.9	7.3	1.6	-0.5	6.0
1975	-2.2	-5.7	0.9	7	14.6	15.2	18.3	15.6	12.9	4.8	-1.8	-2.8	6.4
1976	-11.4	-10.3	-3.5	3.8	10.6	12.8	16.7	14.1	9.6	-0.3	0.2	-3.9	3.2
1977	-8.5	-7.3	-2.3	6.1	12.9	16.2	17.5	14.9	8.9	4.3	2.6	-7.3	4.8
1978	-7.7	-10.2	0	3.7	10.7	14.4	16.1	14.8	9	3.6	3	-15.9	3.5
1979	-9.8	-10.8	-0.8	3.3	14.6	16.8	15.7	16.7	10.7	4.2	0.4	-3.5	4.8
1980	-10.3	-8.3	-6.3	5.6	8	18.2	16.7	14.8	10.9	6	-2	-3.5	4.2
1981	-5.4	-5.2	-4.4	2.5	13.8	17.1	19.3	15.4	10.8	8	-0.1	-5.6	5.5
1982	-10.9	-8	0.1	4.6	11.4	12.9	17.3	15.7	10.9	5.5	3.2	-0.6	5.2
1983	-2.2	-9.1	-2.1	7.9	15.1	14.5	17.5	16.1	12.2	6.3	-0.2	-2.6	6.1
1984	-3.5	-7.5	-3.3	6.9	15	14.6	16.4	14.8	11.4	7.6	-1.5	-5.5	5.5
1985	-13.8	-17	-1.1	3.7	12.4	14	16	18.4	10	7.5	-1.9	-7	3.4
1986	-6	-13.1	0	5.5	12.5	17.4	17.9	15	7.7	4.9	2.4	-7.8	4.7
1987	-18.6	-5	-7.1	2.3	11.4	15.4	15.9	13.9	9.5	5	-1.6	-6	2.9
1988	-5.4	-4.5	-0.3	4.3	14.5	18.4	20.5	15.4	11.7	5.2	-4.8	-6.6	5.7
1989	-0.9	0.8	2.4	8.1	13	18.5	18.1	16	12.2	5.8	-1.3	-5	7.3
1990	-4.1	1.8	2.1	7.8	10.6	14.4	16.7	15.6	9.2	5.8	0.4	-2.5	6.5
1991	-4.2	-5.8	-0.3	6.2	11	15.9	17.6	16.5	11.1	6.6	2.6	-1.9	6.3
1992	-3.2	-2.7	1.8	4.4	12.5	16.3	18.3	17.2	12.7	1.5	-3.2	-2.1	6.1
1993	-3.4	-3	-1.8	4.6	14.7	13.5	16.6	14.6	6.6	4.5	-7.4	-2.8	4.7
1994	-3.5	-13.3	-1.9	7.8	10	14.5	19.1	15.9	12.8	4.8	-1.6	-5.6	4.9
1995	-5.5	-0.3	1.6	6.2	12.7	19.6	16.7	16.3	11.9	7.5	-2.8	-9.3	6.2
1996	-9	-11.5	-3.7	5.5	13.2	15.5	16.5	17.2	8.5	6.3	3.9	-6.7	4.6

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	среднее
1997	-5.7	-3.3	-0.9	3.4	9.7	17.1	19.2	18	9.1	3.4	0	-6.9	5.3
1998	-2	-6.3	-2.6	5	13	17.8	17.6	14.7	11	5.6	-7.6	-5.6	5.1
1999	-5.9	-8.4	-0.2	9.4	8.5	21.1	20.3	15.3	12	6.9	-1.5	-1.1	6.4
2000	-5.4	-3.4	-0.3	9.2	11.1	15.5	17.6	15.9	9.4	8.2	2.2	-1.5	6.5
2001	-2.7	-7.6	-2.9	9.5	11.3	15.8	21.8	16.3	11.8	6.3	-1	-10.9	5.6
2002	-4.6	-0.4	1.5	6.7	12.6	16.5	20.8	18	10.6	1.3	-1.6	-11.6	5.8
2003	-8.6	-6.5	-1.8	4	13.9	13.1	20.7	16.2	11.3	4.9	1.6	-1	5.7
2004	-8.3	-6.4	-0.8	5.5	10.9	14.8	17.9	17.6	12.5	6	-1	-1	5.6
2005	-1.6	-8.4	-6.4	6.2	11.9	15.2	19	17.2	12.9	6.4	1.9	-4.2	5.8
2006	-7.8	-12	-5.2	5.5	11.4	16.9	18.4	17.2	13.5	8	1.7	2.6	5.9
2007	-2.9	-13.7	4.3	5.5	13.7	16.4	17.7	18.7	11.4	6.9	-1.4	-0.4	6.4
2008	-2.7	-0.2	1.1	7.7	11.1	15	17.6	16.5	10.2	8.2	2.1	-1.5	7.1
2009	-4	-3.8	-0.9	5.5	12.2	15.5	18	15.6	13.1	4.3	2.4	-5.3	6.1
2010	-14.5	-8.2	-1.8	6.7	14.9	17	23.7	19.1	11.1	3.8	0.4	-9.3	5.2
2011	-6	-11.7	-1.9	6.3	11.9	17.7	21.8	17.2	12	6.6	2.7	1.3	6.5
2012	-6.2	-11.9	-1.4	6.2	13	15.1	19.4	15.6	12.1	6.2	2.3	-7.7	5.2
2013	-8.2	-3.9	-7.4	4.8	16	19	18	17.2	10.9	6.4	3.8	-0.2	6.4
2014	-9	-0.7	2.4	6.8	13.9	15	20.2	17.3	11.9	3.9	-0.6	-2.8	6.5
2015	-2.4	-2	2.3	5.8	12.2	16.1	16.9	16.6	13.1	3.9	2.1	1.6	8.2
2016	-11.8	0.4	0.1	6.7	14.2	16.8	19.1	17	12	4.2	-2.4	-2.2	6.2
2017	-5.6	-3.9	1.6	3.9	9.7	13.5	16	17.1	12.2	5.3	1.5	-0.1	5.9
2018	-3.2	-9	-4.3	6.9	14.8	15.3	19.5	17.9	13.5	6.5	0.8	-3.9	6.2
2019	-6.3	-0.3	1	6.7	12.7	18.4	15.4	15.4	11	7.1	2.5	1.7	7.1
2020	1.5	0.8	2.5	4.3	10	19.2	16.9	16.2	13.3	9.1	3.1	-1.4	8.0
2021	-5.2	-9.5	-0.3	6	12.2	19.7	21.2	16	9.5	6.5	2.1	-7.4	5.9
2022	-4.4	-1	-1.6	4.7	10.1	17.6	18.2	19.6	9.1	7	0.2	-4.2	6.3

Таблица А.2 – Атмосферные осадки на МС Старая Русса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1966	55.7	46.7	45.7	58.3	82	53.5	104.1	66	70.4	38.4	29.7	48.3
1967	37.4	17	30.2	43.8	46.6	90.4	64.1	73.2	52	73.2	53.6	41.6
1968	38.9	21.4	46.9	69	73.6	96.1	124.8	46.1	50.7	81.7	34.4	31.4
1969	17	13	13	56.8	45.1	10.6	52	37.4	45	55.6	108.2	43.4
1970	40.1	19.4	17.5	68.5	13.6	75.5	97.5	75.1	91.2	47.1	56.6	50.2
1971	20.8	32.1	42.5	23.8	11.3	116.8	140.3	53.6	42.2	62.8	32.2	37
1972	6.3	11.6	39.7	28.6	46.8	25.1	52.4	67.1	49.2	47.3	60.8	17.4
1973	11.4	47.4	36	39.5	39.6	86	66.9	34.5	90.4	54.8	82	40.6
1974	19.5	23.6	7.2	19.7	53.3	47.4	118.9	47.8	32.1	81.8	82.8	63.9
1975	49.5	20.4	37.2	86.6	52.7	94.4	28.3	53.6	26.4	25.7	42.4	65.3
1976	52.8	15.7	45.1	64.7	44.8	142.5	31.8	45.5	34	38	41.7	59.4
1977	13.1	50.9	34.2	48.8	20.3	29.7	99.1	62.7	77.8	52.2	41.7	41.9
1978	30.6	36.4	50.2	71.7	24.3	57.9	84.3	71.2	78.6	57.4	76.3	24.5
1979	21	31.8	28.5	11.6	26.2	20.1	82.3	107.1	39.1	17.3	48.8	42.1
1980	44.9	33	11.4	18.2	44.4	41.8	69.6	183.3	30.8	69.7	31.7	45.9
1981	35.8	23.5	35.7	8.4	23.7	53	33.1	90.3	80.3	116.5	55.9	80.2
1982	17.3	13.3	21.4	38.6	58.5	68.9	84.1	53	75.2	40.1	42.5	68.7
1983	44.3	24.5	36.2	43.1	40.2	47.7	44	52.2	70.2	59.3	82.7	60.5
1984	41	7.2	25.6	18.3	80.7	104.9	79.2	34.1	98.8	46.3	21.1	32.7
1985	49.3	24.4	21.1	22.4	30.8	112.5	61.5	32	121.8	62.5	57.1	36.6
1986	71.2	17.2	41.1	34.3	23.3	45	77.4	69.2	93.2	31.4	41	55.5
1987	28.3	37.5	15.1	15.6	81.5	109.8	56.6	134	101.1	5.8	45.7	37.7
1988	18.3	22.3	32.3	18.5	36.3	64.2	76.7	75.1	51.3	26	54.6	53.6
1989	34.2	22.8	48.9	26.6	24.2	59.1	58.7	172.1	27.8	63.9	36.8	46.7
1990	74.4	59.6	60.9	3.7	36.6	36.1	231	173.3	101	65.1	54.4	22.3
1991	36	35.5	46.8	32.7	64.7	104	89.8	43.3	47.8	37.2	78.4	32

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1992	56	38.8	50.2	46.1	58.2	20.9	28.5	40.2	39.7	70.3	57	54.9
1993	48.2	40.6	23.8	57.9	43.3	54.6	67.7	96.9	51.8	41.8	0.7	45.9
1994	49.8	6.4	66.4	43	108.3	71.1	37	61.8	85.1	32.5	57.7	40.3
1995	64	53.2	43.6	56.4	43.3	58.6	73.8	25.3	70.3	48.3	44.7	30.2
1996	14.4	30.3	9.2	14.4	55.6	57.3	91.9	12.2	61.3	52.6	88.7	38
1997	35.8	47.9	20.7	58.6	58.5	118.4	3.1	30.5	66.1	87.8	76.7	44.6
1998	46.4	24.7	29.8	15.4	66	123.2	158.2	116	66	41.9	27.5	63
1999	75.7	42.8	29.8	29.7	32	37.7	35	61.6	48.6	47.2	32.6	63.7
2000	42.3	31	32.9	65.3	61.7	86.6	135.1	98.2	23.8	35.5	30.3	44.9
2001	29	50.3	60.3	45.7	24.1	76.7	119.7	34.5	42.3	58.8	69.5	38
2002	39.7	48.6	32.6	13.1	8.6	73.4	31.7	2.3	65	45.7	58.9	37.7
2003	44.1	17.4	12.8	32.1	74	141.7	52.2	137	14.5	140.3	52	54.1
2004	39.9	48.5	39.1	8.1	81.2	93.3	98.9	115.5	57.3	68.6	26.2	59.3
2005	47.9	13.9	19.1	37.3	91.1	61.6	45.4	21.7	27.8	28.9	58.1	41.3
2006	22.9	12.8	12.1	36	61.7	64.2	35	89.6	46.1	116.4	48.6	26.9
2007	74.5	26.6	21.4	30.1	79	15.4	113	45.5	19	82.5	50.6	19.7
2008	34.5	50.1	44.5	52.5	43.5	21	83.5	135.6	92.4	53.2	43.6	51.7
2009	58.2	42.4	28.2	39.9	63.4	125.4	131.3	72.1	61.1	134.4	72.6	61.1
2010	13.4	60.7	52.1	19.4	42.9	99.1	39.2	95.4	65.5	48.3	83.9	54.7
2011	69.1	31.1	18.8	14.7	47.3	40.6	80.2	123.4	99.1	59.7	32.7	56.7
2012	48.4	39	46.2	55.4	36.4	95.7	35.9	72.9	80.9	77.8	83.7	43.2
2013	31.5	19.7	11.2	37.1	155.2	85.3	56.9	74.6	35.7	35.7	85.7	39.2
2014	29.4	38.8	36.2	20	86.1	79.6	16.7	109.5	32.8	54.5	46	47.5
2015	59.8	26.4	13.5	92.5	21.1	25.5	77.1	33.5	48.1	13	72.7	38
2016	56.4	32.2	25.5	75.5	82	53.5	150.3	135.6	51.8	52.8	70.2	32.7
2017	44	28.8	35.7	61.6	64.1	127.3	133.4	83.7	56.7	79.3	30	55.4
2018	57.5	36.1	16	58.4	40	36	167.3	85.8	52	43.4	30.3	32.8
2019	42.5	44.7	42.6	4.4	75.1	50.9	74.2	101.2	50.6	107.9	124.1	57.4
2020	22.7	49.1	37.1	45.6	37.1	59.2	63.2	34.3	57.1	59.3	45	45.7

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2021	27.8	44.2	22.9	49.7	73.1	120.3	16.9	151.2	42.8	36.1	87.3	60.4
2022	37	37.7	11	29.5	17.8	33.4	102.5	22.2	86.5	75.8	34	49.7

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.3

Таблица А.3 – Среднемесячные и среднегодовые расходы воды р. Волхов – Волховская ГЭС

месяц год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	СРЕДНЕЕ
1945	110	96	85	723	923	642	410	309	353	785	704	485	469
1946	374	288	237	916	1810	1200	685	460	388	457	352	287	621
1947	187	144	115	798	1240	856	536	341	328	207	126	184	422
1948	173	210	206	961	998	608	396	260	201	282	443	450	432
1949	363	287	259	796	967	807	741	516	397	335	234	290	499
1950	242	82	153	844	989	770	722	439	421	528	514	583	524
1951	514	417	330	1240	1150	767	516	242	173	146	134	137	481
1952	178	140	111	411	632	422	297	252	293	888	1110	691	452
1953	660	518	428	1430	1400	983	813	1040	999	1250	1010	824	946
1954	594	467	384	685	830	634	434	323	294	438	654	467	517
1955	455	407	366	429	1980	1710	1100	760	454	295	208	233	700
1956	180	144	126	338	1980	1400	848	573	399	315	311	359	581
1957	377	378	371	1040	1430	1070	772	620	759	1160	1090	643	809
1958	570	434	370	806	1800	270	824	623	393	298	604	459	621
1959	414	441	413	1390	1590	975	631	377	200	151	237	223	587
1960	160	133	107	615	1020	688	457	253	252	308	278	678	412
1961	598	465	737	1230	1090	827	481	416	513	319	286	280	604
1962	267	265	207	1150	1570	1090	966	817	823	732	736	634	771
1963	510	387	290	613	984	654	353	151	420	128	291	284	422
1964	230	168	136	485	823	625	330	235	131	135	137	157	299
1965	216	191	174	594	1272	848	618	377	218	170	187	150	418
1966	89	150	147	1170	2320	1520	872	519	258	290	277	230	654

месяц год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	СРЕДНЕЕ
1967	81	35	230	924	1030	770	519	244	165	195	427	397	418
1968	309	235	246	1480	1570	1100	726	468	219	236	424	317	611
1969	242	90	159	596	1300	910	503	246	152	132	377	450	430
1970	342	271	235	885	1350	829	446	215	131	183	337	290	460
1971	291	318	262	1150	940	535	288	203	135	108	241	287	397
1972	222	164	144	688	661	426	219	116	64	44	97	279	260
1973	167	137	160	642	648	470	194	77	73	108	223	238	261
1974	310	281	260	707	879	712	620	585	338	151	423	385	471
1975	661	639	705	1390	1130	730	369	138	98	82	73	107	510
1976	155	141	40	697	1140	994	713	581	325	163	134	241	444
1977	259	218	205	920	1160	767	464	356	328	447	594	372	508
1978	340	258	271	1218	1424	1052	637	471	395	493	717	595	656
1979	489	350	301	837	1166	810	514	410	277	189	181	269	483
1980	264	221	188	535	928	701	428	342	408	393	374	493	440
1981	568	485	403	1074	1236	883	525	280	194	441	817	546	621
1982	531	485	484	1287	1312	1007	672	422	291	317	504	350	639
1983	573	543	513	1295	1103	761	490	310	162	191	250	437	552
1984	542	444	352	1046	1047	780	525	347	248	460	521	330	554
1985	267	196	190	652	1220	898	666	454	369	369	601	465	529
1986	406	336	16	1175	1465	1005	676	493	522	619	634	496	654
1987	381	309	240	611	1276	1215	1062	1144	1152	1195	626	511	810
1988	520	435	360	1117	1160	747	490	315	316	244	222	241	514
1989	306	652	1210	1260	991	608	400	344	358	327	495	398	612
1990	443	849	1570	1570	1030	635	419	384	779	1200	1240	1000	927
1991	798	677	713	1530	1440	1280	981	784	525	372	422	433	830
1992	572	605	739	1470	1500	1020	589	296	179	109	116	239	620

месяц/ год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	СРЕДНЕЕ
1993	318	407	473	1250	1340	774	455	306	319	430	343	250	555
1994	208	157	200	1140	1540	1440	995	605	419	309	239	326	632
1995	441	558	818	1370	1320	959	666	453	430	457	475	441	699
1996	362	385	531	1170	1170	774	591	475	368	301	316	292	561
1997	446	477	654	1230	1180	857	626	451	388	371	407	401	624
1998	465	427	577	904	1140	836	877	965	887	750	651	481	747
1999	458	441	428	1510	1730	1160	664	343	171	121	102	151	607
2000	259	256	343	937	952	604	562	644	549	395	400	449	529
2001	398	329	442	1260	1100	724	492	256	136	152	329	275	491
2002	232	476	866	1230	913	547	361	166	95.1	87.8	99.3	103	431
2004	625	532	596	1580	1300	998	885	620	560	478	610	620	784
2005	800	694	573	1000	1160	1080	858	617	350	150	169	195	637
2006	240	196	148	731	787	823	537	289	333	456	604	833	498
2007	876	674	895	1030	804	581	365	269	202	174	208	269	529
2008	232	270	645	1200	941	589	407	294	319	416	502	461	523
2009	480	456	480	987	1060	873	750	612	541	660	954	895	729
2010	600	492	432	1440	1440	1060	718	369	290	236	368	385	653
2011	372	377	375	1090	1590	1090	707	466	346	383	373	646	651
2012	540	438	383	902	1260	844	598	367	304	441	724	480	607
2013	523	480	386	783	1360	1120	668	496	284	217	446	486	604
2014	618	465	547	600	579	434	250	189	166	125	135	158	356
СРЕДНЕЕ	391	356	388	997	1211	858	594	423	353	369	427	398	