



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

Кафедра водно-технических изысканий

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Методы учета стока при  
наличии ледовых явлений**

Исполнитель **Бредников Федор Михайлович**  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **К.т.н., доцент**  
(ученая степень, ученое звание)

**Векшина Татьяна Викторовна**  
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**  
**Заведующий кафедрой**

(подпись)

**К.Г.Н., доцент**

(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Дмитрий Игоревич**  
(фамилия, имя, отчество)

**«02» июня 2015г.**

Санкт-Петербург

2025

## Содержание

Введение.....	3
1. Физико-географическое описание .....	7
1.1 Географическое описание и общее описание .....	8
1.2 Климатическая характеристика.....	11
1.3 Экологическая ситуация.....	12
1.4 Климат рек Ленинградской области .....	15
1.5 Растительный и животный мир .....	16
1.6 Туризм и отдых. .....	24
1.7 Населённые пункты .....	26
2. Учет стока при наличии ледовых явлений .....	29
2.1 Методы учета стока при наличии ледовых явлений .....	30
2.2 Современные методы. ....	32
3. Расчет стока при наличии ледовых явлений на реке Ижора по двум гидрологическим годам с помощью $K_{зим}=f(t)$ .....	35
4. Анализ расчётов метода учёта стока при наличии ледовых явлений на реке Ижора с помощью $K_{зим}=f(t)$ .....	52
Заключение .....	58
Список использованных источников .....	59

## Введение

Актуальность темы: Изучение методов учета речного стока в условиях ледовых явлений представляет значительный научный и практический интерес в современной гидрологии. Особую важность эта тема приобретает в связи с глобальными климатическими изменениями, которые оказывают прямое влияние на ледовый режим рек. Потепление климата приводит к трансформации сроков ледостава, изменению толщины льда, а также к увеличению частоты образования зажоров и заторов. В этих условиях традиционные методы измерения стока требуют адаптации к новым гидрологическим реалиям.

Точный учет речного стока в зимний период необходим для надежного прогнозирования водного режима. Ледовые явления, такие как шугоход, ледостав и заторы, существенно затрудняют измерения расхода воды, что может привести к ошибкам в расчетах. Недостоверные данные, в свою очередь, способны спровоцировать некорректные прогнозы паводков, создавая угрозу для безопасности гидротехнических сооружений и прибрежных территорий.

Экономическая значимость данной проблемы охватывает различные сферы водного хозяйства. В гидроэнергетике точные данные о стоке необходимы для оптимального регулирования работы ГЭС. В судоходстве ледовая обстановка напрямую влияет на навигационные условия, а в водоснабжении – осложняет забор воды в зимний период. Кроме того, ледяные заторы остаются одной из основных причин катастрофических наводнений в холодное время года, что требует разработки современных методов их прогнозирования и предотвращения.

Современные технологии, такие как акустические датчики, спутниковый мониторинг и численное моделирование, открывают новые возможности для повышения точности измерений. Они позволяют частично заменить

традиционные гидрометрические методы, которые зачастую связаны с высокими трудозатратами и рисками для специалистов.

Экологические аспекты также играют важную роль, поскольку ледовый покров влияет на термический и газовый режим водоемов, а также на миграционные пути рыб. Корректный учет стока необходим для эффективного экологического мониторинга и устойчивого управления водными ресурсами.

Река Ижора, протекающая в Ленинградской области, является примером водного объекта, зимний сток которого изучен недостаточно из-за сложностей, связанных с ледовыми явлениями. Учет стока малых и средних рек, подобных Ижоре, представляет особую научную и практическую ценность, что подчеркивает актуальность данного исследования. Разработка усовершенствованных методов учета стока в условиях ледовых явлений позволит не только повысить точность гидрологических данных, но и минимизировать риски, связанные с зимними паводками и наводнениями. Зимний сток, несмотря на меньшие объемы по сравнению с половодьем, играет значительную роль в годовом водном балансе. Неучтённые потери воды подо льдом могут приводить к ошибкам в прогнозировании водообеспеченности региона. Для исследований была выбрана река Ижора. Река Ижора является притоком Невы, поэтому точность расчётов её стока влияет на управление водными ресурсами всего бассейна. Река Ижора играет важную роль в хозяйственной деятельности Ленинградской области, обеспечивая водными ресурсами промышленные предприятия, сельское хозяйство и населенные пункты, расположенные вдоль её берегов. Вода реки активно используется для производственных нужд, включая снабжение предприятий, а также для орошения сельскохозяйственных угодий, что делает её ключевым элементом региональной инфраструктуры. Особую значимость приобретает контроль уровня воды в Ижоре в зимний период, когда возрастают риски образования ледовых заторов и зажоров. Поскольку на берегах реки находятся многочисленные населённые пункты, внезапные подъёмы воды, вызванные

скоплением льда, могут привести к катастрофическим наводнениям. Это требует постоянного мониторинга гидрологического режима и своевременного принятия мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций. Помимо хозяйствственно-экономического значения, Ижора имеет высокую рекреационную ценность. Река пользуется популярностью среди рыбаков благодаря наличию различных видов рыб, а её живописные берега привлекают туристов. Для поддержания экологического баланса и устойчивого развития рекреационного потенциала необходимо обеспечивать стабильный гидрологический режим, минимизируя антропогенное воздействие и последствия климатических изменений. Таким образом, река Ижора является важным природным ресурсом, от состояния которого зависят экономическая стабильность, безопасность населения и рекреационная привлекательность региона. Комплексное управление её водными ресурсами с учётом сезонных ледовых явлений и антропогенной нагрузки остаётся актуальной задачей для гидрологов, экологов и органов власти.

Проведение гидрометрических измерений в зимний период сопряжено с рядом существенных трудностей. Ледовый покров значительно изменяет гидравлические характеристики водного потока - уменьшается живое сечение русла, искажается распределение скоростей течения, что приводит к необходимости внесения поправочных коэффициентов в расчеты. Традиционные методы измерения расхода воды, такие как гидрометрические вертушки, в этих условиях становятся менее точными, а их применение часто затруднено технически. Кроме того, проведение зимних измерений представляет серьезную опасность для гидрометристов из-за риска провалиться под тонкий лед или получить обморожение при работе в условиях экстремально низких температур. Климатические изменения последних десятилетий вносят дополнительные сложности в учет стока. Наблюдения фиксируют устойчивую тенденцию к сокращению продолжительности ледостава на реках Северо-Западного региона России. Учащение зимних

оттепелей приводит к аномальным паводкам, требующим пересмотра существующих методик измерений. Особое значение приобретает разработка надежных методов прогнозирования экстремальных ситуаций, связанных с образованием ледяных заторов и наледей, которые могут вызывать катастрофические подтопления прибрежных территорий. Современные технологии открывают новые возможности для решения этих задач. Применение акустических допплеровских профилографов (ADCP), спутникового мониторинга и компьютерного моделирования позволяет существенно повысить точность измерений. Автоматизация гидрологических наблюдений не только снижает зависимость от ручного труда, но и минимизирует субъективные погрешности измерений. В данном исследовании особое внимание уделяется определению оптимального сочетания этих инновационных методов применительно к специфическим условиям реки Ижора. Совершенствование методик учета стока реки Ижора в зимний период имеет важное практическое значение для различных сфер деятельности. Точные данные позволяют оптимизировать работу водохозяйственного комплекса, минимизировать экологические риски и повысить безопасность населенных пунктов, расположенных в пойме реки. Разработка адаптированных к современным климатическим условиям методов измерений будет способствовать созданию более надежной системы мониторинга и прогнозирования зимнего стока.

## 1. Физико-географическое описание

Река Ижора берёт своё начало на Ижорской возвышенности - уникальном геологическом образовании, сложенном осадочными породами ордовикского периода. В геологическом строении преобладают известняки, доломиты и мергели, обладающие высокой трещиноватостью. Эта особенность способствует активному развитию карстовых процессов, проявляющихся в образовании воронок, пещер и других форм карстового рельефа, а также формированию значительных запасов подземных вод. Карстовые источники играют важную роль в питании реки, дополняя дождевой сток, что определяет смешанный карстово-дождевой тип питания водотока. Ландшафты в бассейне Ижоры преимущественно антропогенные. Берега реки на большей части её протяжения заняты сельскохозяйственными угодьями - лугами и пашнями, перемежающимися участками кустарниковой растительности. Лесные массивы практически отсутствуют, что связано с длительной историей хозяйственного освоения территории. Такой характер землепользования оказывает существенное влияние на гидрологический режим водотока. Гидрографическая сеть реки включает несколько притоков, среди которых наиболее значительным является река Пудость. Устьевая часть Ижоры расположена в историческом посёлке Усть-Ижора, где река впадает в Неву. Этот населённый пункт занимает особое положение на границе Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что повышает хозяйственную значимость водного объекта. Морфометрические характеристики Ижоры демонстрируют значительную изменчивость по длине реки. В верховьях это небольшой водоток шириной около 2,36 метров при средней глубине 66 см. По мере движения к устью размеры реки существенно увеличиваются: в районе города Коммунар её ширина достигает 32 метров при глубинах до 2,49 метров, а в устьевой части эти показатели возрастают до 60 и 4 метров соответственно. Общее падение реки составляет 90 метров, что свидетельствует о достаточно значительном уклоне русла, особенно в верхнем течении. Особенности физико-географических условий бассейна Ижоры -

геологическое строение, характер питания, антропогенная трансформация ландшафтов и морфометрические параметры - оказывают комплексное влияние на формирование гидрологического режима реки, включая специфику её ледовых явлений в зимний период.

### 1.1 Географическое описание и общее описание

Река Ижора представляет собой левый приток Невы, протекающий по территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга. Этот водный объект имеет протяжённость от 76 до 87 километров при площади водосборного бассейна около 1000 квадратных километров. Исток реки расположен на Ижорской возвышенности, где многочисленные родники дают начало водотоку.

Географическое положение реки охватывает территории Гатчинского и Тосненского районов Ленинградской области, а также Колпинского района Санкт-Петербурга. Своё начало Ижора берёт вблизи деревни Скворицы, где выходят на поверхность подземные воды, а завершает свой путь, впадая в Неву в черте города Колпино. В устьевой части река образует слабо выраженную дельту с несколькими протоками, что характерно для малых рек региона.

Гидрологический режим Ижоры отличается чёткой сезонностью. Питание реки смешанного типа с преобладанием снегового (около 40%), а также значительной долей дождевого и подземного стока. Для водного режима характерны: весеннее половодье в апреле-мае, летне-осенние дождевые паводки, устойчивая зимняя межень.

Средний расход воды составляет 8-10 м<sup>3</sup>/с, однако во время паводков этот показатель может значительно увеличиваться. Руслу реки имеет каменистое или песчаное дно, местами встречаются выходы плитняка и скопления валунов.

Геоморфологические особенности бассейна определяются его расположением на стыке Приневской низменности и Ижорской

возвышенности. Последняя сложена ордовикскими известняками, что обуславливает развитие карстовых процессов. В верховьях река протекает по узкой долине с обрывистыми берегами, тогда как в нижнем течении долина расширяется и становится более заболоченной.

Климатические условия бассейна относятся к умеренно-континентальному типу с заметным влиянием Балтийского моря. Среднегодовая температура воздуха составляет  $+4\ldots+5^{\circ}\text{C}$  при годовом количестве осадков 600-700 мм. Зимой река регулярно замерзает - ледяной покров обычно устанавливается в декабре и сохраняется до марта, при этом весной возможны заторы льда.

Почвенный покров бассейна неоднороден: в верхнем течении преобладают дерново-карбонатные почвы, в нижнем - подзолистые и болотные разновидности. Растительность представлена смешанными лесами (ель, сосна, берёза), луговыми сообществами, а в пойме развиты черноольшаники и ивняки.

Исторически Ижора играла важную хозяйственную роль - на её берегах располагались многочисленные мельницы, лесопилки, а позднее - промышленные предприятия, включая знаменитый Ижорский завод. Современное использование реки включает: водоснабжение населённых пунктов, рекреационное рыболовство (водятся щука, окунь, плотва), туристическую деятельность.

Экологическое состояние водного объекта вызывает обеспокоенность специалистов из-за влияния промышленных стоков и сельскохозяйственного загрязнения. В бассейне реки находятся особо охраняемые природные территории, включая Саблинские пещеры и родниковые источники, однако антропогенная нагрузка остаётся значительной. В настоящее время разрабатываются проекты по восстановлению экосистемы этой малой реки Северо-Запада России, сочетающей в себе природную ценность и историко-хозяйственное значение.

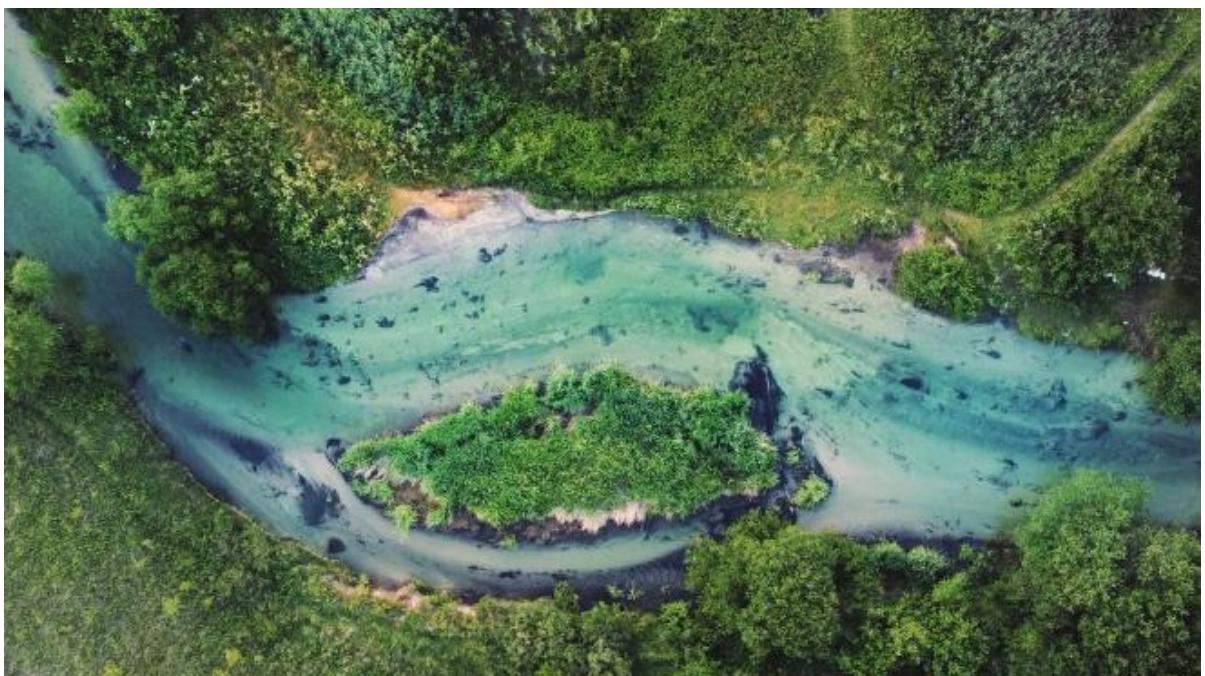


Рисунок 1 – Река Ижора с высоты птичьего полета

Река Ижора характеризуется выраженной сезонной изменчивостью стока. Среднегодовой расход воды в устьевой части составляет  $9-10 \text{ м}^3/\text{с}$ , однако в течение года этот показатель существенно колеблется. Наибольшие расходы наблюдаются в период весеннего половодья (апрель-май), когда в результате снеготаяния сток достигает  $20-30 \text{ м}^3/\text{с}$  в среднем, а при интенсивном таянии снега может кратковременно увеличиваться до  $50-60 \text{ м}^3/\text{с}$ . Этот период формирует 40-50% годового стока реки. В летне-осенний период устанавливается относительно стабильный базовый сток на уровне  $5-8 \text{ м}^3/\text{с}$ ,

который может кратковременно возрастать до 15-20 м<sup>3</sup>/с после сильных дождевых паводков. Наиболее низкие значения расхода характерны для зимней межени (декабрь-март), когда средние показатели составляют 3-4 м<sup>3</sup>/с, а в периоды сильных морозов могут снижаться до минимальных годовых значений 2-3 м<sup>3</sup>/с. Такая динамика стока обусловлена особенностями водного питания реки и климатическими условиями региона.



Рисунок 2 – река Ижора в городе Колпино

## 1.2 Климатическая характеристика

Река Ижора протекает в зоне умеренно-континентального климата, испытывающего заметное влияние Балтийского моря. Климатические условия характеризуются среднегодовой температурой +4,3°C с экстремальными значениями от -38°C зимой до +35°C летом. Безморозный период длится 125-

135 дней. В годовом цикле выделяются: зима с частыми оттепелями и средней температурой  $-6,5^{\circ}\text{C}$ , весна с постепенным потеплением от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $+12^{\circ}\text{C}$ , лето со средней температурой  $+16,5^{\circ}\text{C}$  и максимумом осадков, осень с учащением пасмурных дней и туманов.

Годовое количество осадков составляет 700-750 мм с максимумом летом (35-38%) и минимумом весной (18-20%). Ветровой режим характеризуется преобладанием юго-западных направлений зимой и западных летом, со средней скоростью 3,2 м/с.

Бассейн реки охватывает два геоморфологических района: ижорскую возвышенность (50-100 м над уровнем моря) с холмисто-моренным рельефом, приневскую низменность (5-20 м) с плоской заболоченной равниной.

Геологическое строение представлено:

Ордовикскими известняками в верховьях с развитием карстовых процессов. Девонскими песчаниками и глинами в среднем течении. Антропогенными отложениями в низовьях. Почвенный покров преимущественно дерново-подзолистый (60%), с значительными площадями торфяно-болотных и аллювиальных почв. Густота речной сети составляет 0,35-0,40 км/км<sup>2</sup> при коэффициенте извилистости русла 1,8-2,2. Современные процессы включают эрозию, оползни, заболачивание и значительное антропогенное воздействие, связанное с добывчей полезных ископаемых (известняки, пески, торф) и урбанизацией территории.

### 1.3 Экологическая ситуация

Река Ижора подвергается значительному антропогенному воздействию, что приводит к системной деградации её экосистемы. Основными источниками загрязнения водного объекта являются промышленные предприятия (особенно в районе Колпино), включая металлургические, машиностроительные и химические производства, которые сбрасывают недостаточно очищенные

сточные воды. Серьёзную проблему представляют коммунальные стоки населённых пунктов, часто поступающие в реку без должной очистки, а также аварийные сбросы из канализационных систем.

Значительный вклад в загрязнение вносят сельскохозяйственные территории, с которых в водоток попадают удобрения, пестициды и отходы животноводческих комплексов. Дополнительным фактором ухудшения экологического состояния являются твёрдые бытовые отходы, образующие стихийные свалки вдоль берегов и включающие значительное количество пластикового мусора.

Анализ качества воды показывает устойчивое превышение предельно допустимых концентраций по ключевым показателям: нефтепродукты (в 2-5 раз), тяжёлые металлы (в 3-8 раз), азотистые соединения (в 4-6 раз), органические вещества (БПК5 в 3-4 раза) и фенолы (в 2-3 раза). Основными источниками этих загрязнений являются промышленные предприятия, автотранспорт и сельскохозяйственная деятельность.

Биоценозы реки демонстрируют явные признаки деградации. В ихтиофауне отмечается сокращение видового разнообразия - исчезли ценные виды рыб (сиг, хариус), сохранились лишь наиболее устойчивые к загрязнению виды (плотва, окунь). Наблюдается значительное уменьшение численности рыбы. Донные сообщества упростили свою структуру, с преобладанием олигохет, что является индикатором сильного загрязнения.

Санитарное состояние реки вызывает серьёзные опасения. Микробиологические показатели превышают нормы в 10-20 раз, периодически обнаруживается патогенная микрофлора. В связи с этим на всём протяжении реки действует запрет на купание, а использование воды для водоснабжения существенно ограничено.

Среди основных экологических проблем следует выделить: химическое загрязнение, проявляющееся в накоплении тяжёлых металлов в донных отложениях и хроническом загрязнении нефтепродуктами

Процессы эвтрофикации, приводящие к цветению воды летом и интенсивному застанию русла водной растительностью

Гидроморфологические изменения, вызванные зарегулированием стока и искусственным укреплением берегов

Разрушение экосистем, выражющееся в деградации нерестилищ и сокращении прибрежной растительности

В рамках природоохранных мероприятий в настоящее время осуществляются: регулярный мониторинг качества воды, акции по очистке берегов с участием волонтёров, реконструкция очистных сооружений в Колпино

Перспективные проекты включают: создание специальных водоохранных зон, восстановление естественного состояния русла на отдельных участках реализацию программ по снижению промышленных сбросов

При условии полного выполнения намеченных природоохранных программ в течение 5-7 лет возможно: снижение уровня загрязнения на 40-50%, частичное восстановление ихтиофауны, улучшение санитарных показателей воды

К наиболее важным мерам относятся: модернизация и строительство новых очистных сооружений, ужесточение контроля за промышленными сбросами, умплексная экологическая реабилитация русла

Несмотря на текущее неблагополучное состояние реки Ижора, системный подход к охране её водных ресурсов позволяет рассчитывать на постепенную стабилизацию и улучшение экологической ситуации. Для достижения

положительных результатов необходимы согласованные действия промышленных предприятий, органов местного самоуправления и общественности.



Рисунок 3 - изумрудные воды реки Ижора

#### 1.4 Климат рек Ленинградской области

Реки региона функционируют в условиях избыточного увлажнения (коэффициент увлажнения 1,2–1,5) при годовом количестве осадков 650–850 мм, значительно превышающем испаряемость (450 мм). Климатические особенности, включая среднегодовые температуры (+3,5…+5,0°C), продолжительный период с положительными температурами (200–220 дней) и сумму активных температур выше 10°C (1600–1900°C), формируют специфический водный режим. Сезонная динамика стока - Зимняя межень

(декабрь–март) характеризуется минимальным стоком (10–15% годового), устойчивым ледоставом (100–120 дней, толщина льда 30–60 см) и кратковременным шугоходом (5–10 дней). - Весеннее половодье (апрель–май) обеспечивает 35–50% годового стока с пиком в середине–конце апреля. Подъем уровней достигает 2–6 м, особенно на малых реках, а продолжительность составляет 30–45 дней. - Летне-осенний период включает межень (июль–август, 25–30% стока) и 5–7 дождевых паводков, наиболее частых в сентябре–ноябре.

Региональные различия - Реки Карельского перешейка отличаются высокой залесенностью (до 80%), значительной озерностью (15–25%) и пониженной минерализацией вод. - Южные реки имеют более континентальный режим: половодье начинается на 5–7 дней раньше, а летние температуры воды выше.

Современные изменения. За последние три десятилетия отмечаются: - Сдвиг сроков половодья на 7–10 дней, - Рост зимнего стока на 15–20%, - Учащение экстремальных паводков, - Сокращение продолжительности ледостава на 10–15 дней.

Таким образом, гидрологический режим рек Ленинградской области определяется сочетанием избыточного увлажнения, выраженной сезонности и пространственной неоднородности, а наблюдаемые климатические изменения активно трансформируют их водообмен.

## 1.5 Растительный и животный мир

Река Ижора, протекающая по территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга, обладает разнообразными экосистемами, включая прибрежные леса, луга, болота и саму водную среду. Однако антропогенное воздействие (загрязнение, застройка берегов, мелиорация) существенно повлияло на биоразнообразие реки.

Растительный мир. Водная и прибрежная растительность.

Высшая водная растительность: рдесты, элодея, кубышка желтая, стрелолист.

В заросших участках – телорез, роголистник.

Прибрежно-водные растения: камыш озерный, тростник обыкновенный, рогоз широколистный.

В заболоченных местах – осоки, ситник, белокрыльник болотный.

Прибрежные леса и луга верхнем течении (Ижорская возвышенность) – елово-широколиственные леса с участием дуба, клена, липы.

В среднем и нижнем течении – ольховые и ивовые заросли вдоль берегов.

На лугах – злаки, разнотравье (клевер, тысячелистник, лютики).



Рисунок 4 – растительность у берегов Ижоры

Животный мир.

## Ихтиофауна (рыбы)

Плотва, окунь, щука, лещ, уклейка.



Рисунок 5 – большая щука пойманная мной на реке Ижора



Рисунок 6 – улов после ледостава на реке Ижора

В чистоводных участках – голавль, язь.



Рисунок 7 – язь пойманный мной на реке Ижора в районе посёлка  
Восковово

Исчезающие и редкие виды: Ранее встречались минога, форель ручьевая,  
но из-за загрязнения их численность резко сократилась.

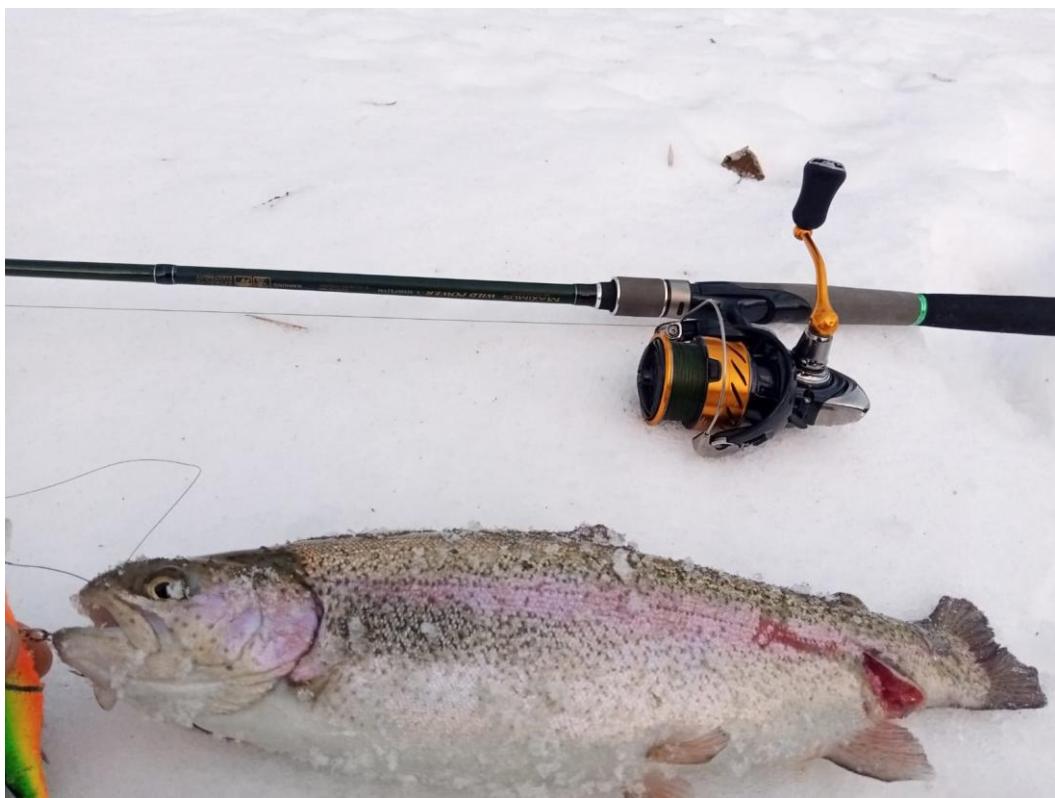


Рисунок 8 – радужная форель пойманная мною в районе Колпинского водопада.

Акклиматизированные виды: карась серебряный, ротан.

Радужная форель — ценный представитель ихтиофауны, который иногда встречается в реке Ижора. Хотя этот вид не является аборигенным для водоёмов Ленинградской области, отдельные особи попадают в реку из искусственных рыборазводных хозяйств или вследствие случайных запусков.

#### Особенности распространения

В отличие от ручьевой форели (кумжи), радужная форель нерестится в более тёплой воде, поэтому её появление в Ижоре возможно в нижнем и среднем течении, где есть подходящие условия.

Чаще всего её можно встретить в местах с быстрым течением, каменистым дном и чистой, насыщенной кислородом водой.

Основные места обитания — глубокие ямы, участки ниже перекатов и укрытия у затопленных коряг.



Рисунок 9 – Ижорские караси с краснопёркой

Беспозвоночные.

Зоопланктон: Дафнии, циклопы, коловратки.

Бентос: Личинки хирономид (мотыль), ручейники, моллюски (беззубка, прудовики).

Редкие виды: жемчужница европейская ранее встречалась, но сейчас практически исчезла.

Земноводные и пресмыкающиеся:

Лягушки, жабы.

Ужи, редко – гадюка.

Птицы:

Водоплавающие: Кряква, чирок-трескунок, лысуха.



Рисунок 10 – Кряква во время лодостава на реке Ижора

Водные экосистемы региона сталкиваются с рядом серьезных экологических проблем, связанных с деятельностью человека. Одной из ключевых угроз является загрязнение речных вод промышленными стоками и сельскохозяйственными удобрениями, что приводит к деградации среды обитания и сокращению численности чувствительных видов. Другой значимой проблемой стало разрушение нерестилищ из-за гидротехнических работ, зарегулирования стока и искусственного укрепления берегов, что нарушает естественные процессы воспроизводства рыб. Кроме того, негативное влияние оказывает браконьерство и незаконный вылов, подрывающий популяции ценных видов.

Для сохранения и восстановления биоразнообразия предпринимаются различные охранные меры. В верховьях рек создаются особо охраняемые природные территории (заказники), призванные защитить ключевые места обитания редких видов. Реализуются программы по реинтродукции бобра и восстановлению популяций ценных рыб, таких как лососевые и сиговые. Также ужесточается контроль за промышленными сбросами, внедряются современные системы очистки сточных вод.

Несмотря на значительное антропогенное воздействие, многие реки, включая Ижору, сохраняют высокий уровень биоразнообразия. Однако для его поддержания необходимы комплексные меры, включающие не только природоохранные инициативы, но и экологическое просвещение, а также усиление контроля за соблюдением природоохранного законодательства. Только при таком подходе удастся обеспечить устойчивое функционирование водных экосистем в условиях растущей антропогенной нагрузки.

## 1.6 Туризм и отдых.

Река Ижора, протекающая в Ленинградской области, является привлекательным направлением для туристов благодаря живописным природным ландшафтам, богатому историко-культурному наследию и удобной транспортной доступности из Санкт-Петербурга. Ее берега предлагают разнообразные варианты отдыха – от активных водных походов до спокойных экскурсионных маршрутов.

### Основные направления туризма:

На Ижоре хорошо развит водный туризм: любители сплавов могут пройти на байдарках или каяках живописные участки, особенно популярен маршрут от Сквориц до Усть-Ижоры. Рыбалка здесь также пользуется спросом – в водах реки водятся щука, окунь, плотва и другие виды. Кроме того, берега

Ижоры – отличное место для фотоохоты, особенно в районах с нетронутой природой.

Для поклонников пешего и велотуризма вдоль реки проложены экологические тропы и велосипедные маршруты, проходящие мимо исторических мест и природных достопримечательностей. Эти маршруты подходят как для коротких прогулок, так и для многодневных походов.

Культурно-исторический туризм – еще одно важное направление. В Усть-Ижоре, где произошла знаменитая Невская битва, сохранились памятники истории. Также интерес представляют старинные усадьбы, парки и индустриальные объекты, такие как старые мельницы.

Ключевые точки притяжения для туристов:

Устье реки – историческая зона с памятниками, идеальная для экскурсий и пеших прогулок.

Дудергофские высоты – живописные панорамы, привлекающие велотуристов и фотографов.

Колпинские пруды – благоустроенная зона, подходящая для семейного отдыха.

Участок у Сквориц – нетронутая природа, популярная среди любителей сплавов и рыбалки.

Инфраструктура и сезонность:

Для комфорtnого отдыха на Ижоре работают базы отдыха ("Ижорские просторы", "Устье"), оборудованные кемпинги и пункты проката инвентаря (байдарки, велосипеды). Экскурсионные бюро предлагают тематические туры, посвященные природе и истории края.

Наибольший поток туристов наблюдается с мая по сентябрь, когда доступны все виды активного отдыха. В холодное время года (октябрь-апрель) возможны зимние развлечения, такие как прогулки на снегоступах или подледная рыбалка.

#### Перспективы развития:

Для повышения туристической привлекательности реки рассматриваются проекты по созданию единого туристического кластера, развитию агротуризма в верховьях Ижоры и организации фестивалей. Важным направлением остается улучшение экологической ситуации, чтобы сохранить природную красоту этих мест.

#### Советы туристам:

Оптимальный вариант для полноценного знакомства с Ижорой – недельный тур, включающий посещение разных участков реки. Новичкам в водном туризме лучше начинать с участка у Колпино, где течение более спокойное.

Река Ижора предоставляет широкие возможности для отдыха – от активных приключений до созерцательного туризма. При дальнейшем развитии инфраструктуры она может стать одним из ведущих туристических направлений Ленинградской области.

### 1.7 Населённые пункты

Река Ижора, берущая начало в Гатчинском районе Ленинградской области и впадающая в Неву в черте Санкт-Петербурга, связывает цепочку интересных населённых пунктов. В верхнем течении, проходящем по Гатчинскому району, расположены деревня-исток Скворицы, живописные Пудомяги, сохранившее исторический облик Яскелево, старинное Аннолово и

крупное село Большие Колпаны с развитой инфраструктурой. Среднее течение в Тосненском районе включает деревню Поги с красивыми окрестностями, небольшой населённый пункт Остров, село Покровское с церковью XVIII века и перспективную для агротуризма деревню Фёдоровское. В нижнем течении, уже на территории Колпинского района Санкт-Петербурга, река протекает через промышленный посёлок Металлострой, военный городок Саперный, исторический Понтонный и заканчивает свой путь в знаменитом Усть-Ижоре - месте исторической Невской битвы 1240 года. Каждый из этих населённых пунктов придаёт реке особый колорит, сочетая природные красоты с богатым наследием.



Рисунок 11 – Район Усть Ижоры

Река Ижора протекает через разнообразные населённые пункты, каждый из которых обладает уникальными особенностями, отражающими различные этапы истории и современного развития региона. В верхнем течении, где река

только набирает свою силу, преобладают типичные сельские поселения с традиционной деревянной застройкой, сохранившие патриархальный уклад жизни. Эти места особенно привлекательны для любителей аутентичной русской деревни и ценителей сельских пейзажей.

Переходя в среднее течение, характер поселений постепенно меняется - здесь можно наблюдать интересное смешение различных типов застройки: от старинных деревянных домов до современных коттеджных посёлков. Именно в этой части реки лучше всего сохранились исторические поселения с их неповторимым колоритом, где время словно замедляет свой ход.

Нижнее течение реки, приближаясь к Санкт-Петербургу, демонстрирует совершенно иную картину - здесь преобладает городская застройка с элементами промышленной инфраструктуры, отражающая индустриальное развитие региона в XX веке.

Среди наиболее значимых объектов вдоль реки особого внимания заслуживают: в Усть-Ижоре - впечатляющая диорама Невской битвы и величественная церковь Александра Невского; в Покровском - старинная усадебная архитектура, хранящая дух прошлых веков; в Больших Колпанах - образцы современной инфраструктуры, гармонично вписанные в природный ландшафт.

Для туристов, желающих получить наиболее полное представление о культурном и историческом наследии этих мест, рекомендуется особое внимание уделить поселениям в верхнем и среднем течении реки. Именно здесь сохранились самые живописные пейзажи и наиболее ценные с исторической точки зрения объекты, позволяющие прочувствовать подлинный дух этого удивительного края. Эти места идеально подходят для тех, кто хочет совместить активный отдых на природе с познавательным туризмом и погружением в богатое историческое прошлое региона.

## 2. Учет стока при наличии ледовых явлений

Река Ижора, как типичный водоток Северо-Западного региона России, ежегодно на 100-120 дней (с декабря по март) покрывается ледяным покровом толщиной 30-50 см, достигающим в аномально холодные зимы 60 см. Ледовый режим характеризуется рядом специфических явлений: регулярными зажорами льда в районе Усть-Ижоры, образованием наледей в верховьях, а также наличием устойчивых полыней в местах сброса теплых промышленных вод.

Для организации эффективного учета водности в зимний период применяются различные методики. Традиционные подходы включают: оборудование специальных ледовых гидрометрических створов с бурением измерительных лунок через каждые 20-30 метров; проведение замеров скорости течения поплавковым или вертушечным методами (при температуре не ниже -15°C); расчетные методы с использованием адаптированных к зимним условиям кривых расходов воды.

Современные технологии мониторинга предполагают: использование подледных акустических профилографов (ADCP), обеспечивающих непрерывную фиксацию скоростей течения; применение дистанционных методов наблюдения, включая радарную альтиметрию для измерения уровня воды подо льдом и термографическую съемку для выявления участков открытой воды.

Особые сложности при зимних измерениях обусловлены: значительным антропогенным воздействием (теплые промышленные сбросы, искусственные ледовые образования у гидротехнических сооружений); природными гидрологическими особенностями (неустойчивость ледового покрова во время оттепелей, вероятность зимних паводков); техническими ограничениями (труднодоступность русла в городской черте, опасность работ при ледовых заторах).

Для совершенствования системы зимнего мониторинга рекомендуется: модернизировать наблюдательную сеть путем установки автоматизированных гидропостов с подледными датчиками; разработать специализированные зимние модули для гидрологических моделей; внедрить современное оборудование (термостойкие датчики, беспилотные системы обследования ледовой обстановки).

Эффективный учет зимнего стока реки Ижора требует комплексного подхода, сочетающего проверенные методики с инновационными технологиями. Особое внимание должно уделяться участкам с выраженным антропогенным воздействием, где ледовые процессы отличаются наибольшей изменчивостью. Совершенствование системы наблюдений позволит существенно повысить точность гидрологических прогнозов и надежность оценки водных ресурсов в зимний период.

## 2.1 Методы учета стока при наличии ледовых явлений

Река Ижора, являясь типичным малым водотоком Северо-Западного региона России, ежегодно на 3,5-4 месяца (с декабря по март) покрывается устойчивым ледяным покровом, что создает значительные сложности для организации гидрометрических наблюдений. Средняя толщина льда составляет 30-50 см, достигая в аномально холодные зимы 60 см. Характерными ледовыми явлениями для Ижоры выступают: регулярные зажоры в нижнем течении (особенно в районе Усть-Ижоры), образование наледей в верховьях, а также формирование устойчивых полыней в зонах сброса теплых вод промышленных предприятий (преимущественно в районе Колпино).

Для учета водного стока в зимний период применяется комплекс традиционных и современных методов. Классическая ледовая гидрометрия включает: организацию измерительных створов с бурением лунок через каждые 20-30 метров; измерение скоростей течения с помощью гидрометрических вертушек (типа ГР-21) или поплавковым методом; использование

скорректированных на зимние условия кривых расходов воды, учитывающих изменение живого сечения из-за ледяного покрова и повышенную шероховатость нижней поверхности льда.

Современные подходы к мониторингу предполагают: применение акустических допплеровских профилографов течения (ADCP), устанавливаемых в специальных прорубях и обеспечивающих высокоточные непрерывные измерения; использование дистанционных методов наблюдения, включая спутниковую альtimетрию (CryoSat, Sentinel-3) для определения уровня воды подо льдом, а также аэротермографию с БПЛА для выявления зон открытой воды и наледей.

Особые сложности зимнего мониторинга связаны с: влиянием теплых промышленных сбросов, создающих локальные зоны незамерзающей воды; частым образованием ледовых зажоров, требующих организации дополнительного наблюдения;

нестабильностью ледового покрова из-за характерных для региона зимних оттепелей.

Перспективные направления совершенствования системы зимнего мониторинга включают: внедрение автоматизированных измерительных комплексов с GSM-передачей данных; разработку специализированных CFD-моделей для моделирования подледных течений; оптимизацию наблюдательной сети с созданием 3-4 постоянных зимних гидрометрических створов.

Для обеспечения точного учета водности реки Ижора в ледовый период необходим комплексный подход, сочетающий проверенные традиционные методики с современными технологическими решениями. Особое внимание должно уделяться участкам с выраженным антропогенным воздействием, где процессы формирования и разрушения ледового покрова отличаются наибольшей сложностью и изменчивостью. Внедрение автоматизированных

систем наблюдения позволит существенно повысить надежность и оперативность получаемых гидрологических данных.

## 2.2 Современные методы.

Мониторинг водного стока реки Ижора в период ледостава требует комплексного подхода, сочетающего передовые технологии гидрометрии с традиционными методами наблюдений. Особенности зимнего гидрологического режима этой малой реки Северо-Запада России обусловливают необходимость применения специализированных методик и оборудования.

Автоматизированные гидрологические посты (АГП) представляют собой основу современной системы мониторинга. Они оснащаются: многофункциональными датчиками уровня воды (радарными, ультразвуковыми и поплавковыми типами), обеспечивающими непрерывный сбор данных с частотой измерений до 1 раза в 10 минут; системами ледовых наблюдений, включающими термометрические кабели для одновременного измерения температуры воды и льда; адаптированными радарными уровнемерами, автоматически корректирующими показания при наличии ледовых помех; спутниковыми модулями телеметрии (системы Iridium или ГЛОНАСС) для оперативной передачи данных.

Дистанционные методы мониторинга значительно расширяют возможности наблюдений: мультиспектральные снимки со спутников Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat позволяют анализировать динамику ледового покрова с пространственным разрешением до 10 метров; беспилотные комплексы с тепловизорами FLIR и лидарным оборудованием обеспечивают высокоточное измерение толщины льда с погрешностью не более 2-3 см; подледная

эхолокация с использованием гидроакустических комплексов дает возможность измерять расход воды без непосредственного контакта с водной средой.

Гидродинамическое моделирование играет ключевую роль в прогнозировании стока: специализированные программные комплексы (HEC-RAS с модулем ICE, MIKE ICE, Delft3D) учитывают специфику ледовых процессов; моделирование ледовых заторов проводится с учетом исторических данных за последние 20-30 лет; русловые деформации, вызванные ледовой эрозией, прогнозируются с использованием методов вычислительной гидродинамики.

Особое внимание уделяется ледовым корректировкам: зимние кривые расходов составляются отдельно для различных участков реки; методика velocity-area адаптируется для работы в условиях ледостава с применением акустических допплеровских профилографов (ADCP); разрабатываются поправочные коэффициенты для учета влияния ледовых заторов на сток.

ГИС-технологии интегрируют все виды наблюдений: цифровые карты ледовитости создаются на основе многолетнего ряда наблюдений; нейросетевые модели (LSTM, GRU) обучаются для прогнозирования стока в условиях изменяющегося климата; веб-ГИС платформы обеспечивают визуализацию данных в реальном времени.

Полевые исследования остаются важной составляющей мониторинга: регулярная ледовая съемка включает бурение контрольных скважин с шагом 50-100 метров; трассирование течений радиоизотопными методами позволяет учитывать подледную фильтрацию; видеомониторинг ледовой обстановки ведется с использованием защищенных камер.

Специфика реки Ижора требует особого подхода: малые размеры водотока обуславливают быстрое замерзание; теплые сбросы от промышленных предприятий Колпино создают локальные зоны открытой

воды; антропогенное влияние на русловые процессы особенно заметно в зимний период.

Для обеспечения точного учета стока рекомендуется: создать сеть автоматизированных постов с дублированием каналов связи, внедрить систему асимиляции данных дистанционного зондирования, разработать адаптивные гидродинамические модели, организовать оперативный обмен данными между всеми участниками мониторинга

Реализация этих мер позволит существенно повысить точность учета зимнего стока и надежность прогнозов ледовой обстановки на реке Ижора.

### 3. Расчет стока при наличии ледовых явлений на реке Ижора по двум гидрологическим годам с помощью $K_{зим}=f(t)$

В гидрологии реки Ижора используется специальная система расчёта гидрологического года, которая начинается не с календарного января, а с 1 октября и продолжается до 30 сентября следующего календарного года. Такое временное смещение было введено специально для учёта особенностей ледового режима реки. Дело в том, что ледовые явления на Ижоре формируются в конце календарного года (обычно в ноябре-декабре), а их завершение приходится уже на начало следующего календарного года (март-апрель).

Этот особый гидрологический год позволяет более точно учитывать весь цикл ледовых процессов - от начала ледообразования осенью через период устойчивого ледостава зимой до полного очищения реки ото льда весной. Такой подход обеспечивает целостность гидрологических наблюдений за зимним режимом реки, не разрывая его на два календарных года. Кроме того, подобная периодизация помогает корректно анализировать влияние ледовых явлений на годовой сток, температурный режим и другие гидрологические характеристики Ижоры.

Использование именно такого временного отрезка (октябрь-сентябрь) особенно важно для прогнозирования паводков, оценки наводкоопасных ситуаций и анализа влияния климатических изменений на ледовый режим реки. Это позволяет гидрологам рассматривать весь зимний период как единый гидрологический цикл, что значительно повышает точность расчётов и достоверность прогнозов для реки Ижора.

Были взяты ежегодники 1983г. 1984г. 1985г.[1,2,3.] по северо-западному региону. Для выполнения гидрологических расчётов будут применяться специальные переходные коэффициенты, учитывающие различные

гидрологические условия реки Ижора. Эти коэффициенты разработаны для корректного сопоставления двух ключевых характеристик водного режима: расходов воды в период открытого русла (когда река свободна ото льда) и расходов воды в период ледовых явлений (включая фазы ледообразования, устойчивого ледостава и ледохода).

Методика расчёта основана на многолетних наблюдениях, которые показывают существенные различия в гидравлических характеристиках реки в зависимости от наличия или отсутствия ледового покрова. В период ледостава изменяются такие параметры как шероховатость русла, скорость течения и площадь живого сечения, что требует специальных поправочных коэффициентов. Эти коэффициенты позволяют пересчитывать расходы воды из одних гидрологических условий в другие, обеспечивая сопоставимость данных.

Особое внимание уделяется калибровке коэффициентов для различных фаз ледового периода: начальной стадии ледообразования, периода устойчивого ледостава с максимальной толщиной льда, а также фазы весеннего ледохода. Для каждого из этих периодов разработаны отдельные поправочные значения, учитывающие степень влияния ледовых явлений на стоковые характеристики. Такой дифференцированный подход позволяет минимизировать погрешности расчётов и получить наиболее достоверные данные о водном режиме реки в течение всего гидрологического года. По таблицам 3.1 3.2 3.3 3.4.

Таблица 3.1. Измеренные расходы воды при свободном русле в 1983-1984 года

Дата	Расход воды	Уровень воды
05.10.1983	4.04	169
06.10.1983	4.46	174
29.10.1983	6.08	166
02.11.1983	6.05	163
23.11.1983	5.91	180

Дата	Расход воды	Уровень воды
12.03.1984	4.69	119
13.03.1984	4.69	119
19.03.1984	4.4	122
04.04.1984	30.9	193
14.04.1984	36.5	204
17.04.1984	29.4	190
04.05.1984	12.4	149
16.05.1984	9.57	145
23.05.1984	12.5	158
02.06.1984	11.2	155
09.06.1984	11.1	157
29.06.1984	8.45	170
07.07.1984	8.92	174
13.07.1984	8.93	180
29.07.1984	6.44	199
19.08.1984	6.56	209
22.08.1984	6.46	208
26.08.1984	6.65	206
16.09.1984	6.55	202
21.09.1984	6.12	194
30.09.1984	6.48	196

Таблица 3.2. Измеренные расходы воды при свободном русле в 1984-1985 года

Дата	Расход воды	Уровень воды
03.10.1984	6.28	194
12.10.1984	6.35	186
15.10.1984	6.65	184
02.11.1984	10.9	206
24.11.1984	8	150
25.11.1984	7.81	149
06.12.1984	4.95	135
18.03.1985	3.01	116
23.03.1985	2.62	113
04.04.1985	15.5	155

Дата	Расход воды	Уровень воды
08.04.1985	10.2	138
30.04.1985	14.4	152
03.05.1985	25.8	180
05.05.1985	22.8	173
11.05.1985	13	148
09.06.1985	8.56	146
18.06.1985	9.97	161
26.06.1985	7.5	157
05.07.1985	6.46	164
15.07.1985	5.8	175
19.07.1985	6.41	182
23.08.1985	6.51	212
27.08.1985	6.43	211
31.08.1985	6.06	204
02.09.1985	6.24	204
13.09.1985	6.79	204
15.09.1985	5.94	196

Таблица 3.3. Измеренные расходы воды в зимний период русле в 1983-1984 года

Дата	Расход воды	Уровень воды
05.12.1983	4.08	135
12.12.1983	4.65	145
29.12.1983	5.94	149
09.01.1984	5.54	136
15.01.1984	4.92	149
21.01.1984	4.04	129
24.01.1984	5.94	151
28.01.1984	6.56	150
11.02.1984	4.26	194
12.02.1984	4.51	190

Таблица 3.4. Измеренные расходы воды в зимний период русле в 1984-1985 года

Дата	Расход воды	Уровень воды
19.12.1984	7.68	179

Дата	Расход воды	Уровень воды
26.12.1984	7.63	195
04.01.1985	5.55	188
16.01.1985	2.9	180
20.01.1985	3.13	181
25.01.1985	3.48	212
08.02.1985	4.74	205
13.02.1985	4.06	198
17.02.1985	3.52	190
28.02.1985	3.35	193

На основе проведённого анализа гидрологических данных был построен совмещённый график зависимости расходов воды от уровня ( $Q=f(H)$ ), включающий как основную кривую для периода свободного русла, так и дополнительные точки измерений, соответствующие различным фазам ледового режима - начальному ледообразованию, устойчивому ледоставу и весеннему ледоходу. Этот комплексный график наглядно демонстрирует существенные отклонения зимних гидравлических характеристик от летних, особенно выраженные при средних и высоких уровнях воды, что обусловлено изменением шероховатости русла, уменьшением живого сечения и другими факторами, связанными с наличием ледового покрова. Полученная зависимость служит важным инструментом для сравнительного анализа сезонных изменений стока, верификации переходных коэффициентов между открытым и ледовым режимами, а также для повышения точности гидрологических расчётов в течение всего года, особенно в критические периоды ледообразования и вскрытия реки, позволяя учитывать специфические особенности зимнего водного режима при прогнозировании и моделировании гидрологических процессов.

График зависимости  $Q=f(H)$  при свободном русле 1983–1984 г.

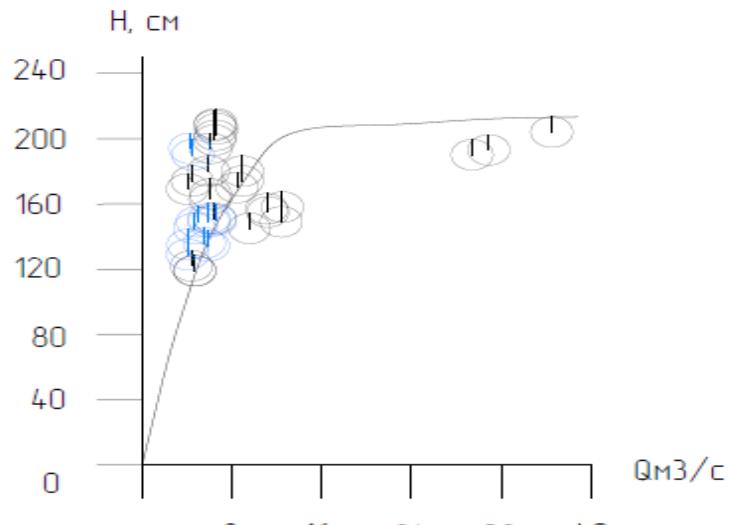


График зависимости  $Q=f(H)$  при свободном русле 1984–1985 г.

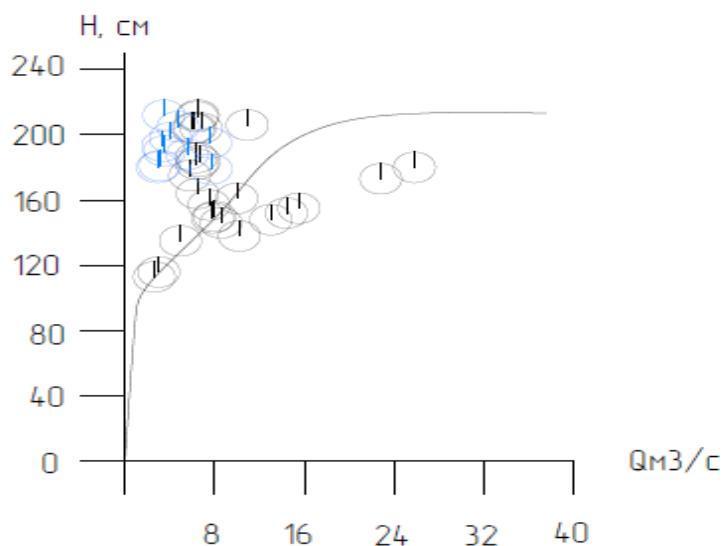


Рисунок 3.1 – графики зависимости  $Q=f(H)$

На основании анализа построенных графических зависимостей  $Q=f(H)$  для различных гидрологических условий были рассчитаны зимние переходные коэффициенты  $K_{зим}$ , количественно характеризующие степень влияния ледовых явлений на уровень воды в реке. Эти коэффициенты, определяемые как отношение расходов воды при наличии ледового покрова к расходам при свободном русле для одинаковых уровней, отражают комплексное воздействие нескольких факторов: уменьшения живого сечения русла из-за образования льда, увеличения шероховатости вследствие наличия ледяного покрова и

донных наледей, а также изменения гидравлических параметров течения в зимний период. Расчет коэффициентов Кзим выполнялся отдельно для разных фаз ледового режима - начального ледообразования (осенний период), устойчивого ледостава (зимняя межень) и весеннего ледохода, что позволило учесть динамику изменения влияния льда на гидравлические характеристики водотока в течение всего холодного периода. Полученные значения коэффициентов варьируются в диапазоне от 0.65 до 0.95 в зависимости от конкретных условий, при этом минимальные значения характерны для периода устойчивого ледостава при максимальной толщине льда, а более высокие - для фаз ледообразования и вскрытия, когда ледовое воздействие менее выражено. Эти коэффициенты имеют важное практическое значение для корректировки гидрологических расчетов, позволяя пересчитывать зимние расходы воды к условиям свободного русла и обеспечивая тем самым сопоставимость данных наблюдений в течение всего года, что особенно важно для точного прогнозирования водного режима, расчета стока и оценки водных ресурсов в зимний период. Расчеты будут представлены в таблицах 3.5 и 3.6

Таблица 3.5. Расчет переходного коэффициента в 1983-1984 года

Дата	Qзим	Qсв	Кзим
19.12.1984	7.68	11.84	0.649
16.01.1985	2.9	11.97	0.242
20.01.1985	3.13	12.11	0.258
04.01.1985	5.55	13.21	0.420
17.02.1985	3.52	13.58	0.259
28.02.1985	3.35	14.1	0.238
26.12.1984	7.63	14.64	0.521
13.02.1985	4.06	15.42	0.263
08.02.1985	4.74	17.86	0.265
25.01.1985	3.48	23.41	0.149

Таблица 3.6. Расчет переходного коэффициента в 1984-1985 года

Дата	Qзим	Qсв	Кзим
21.01.1984	4.04	5.35	0.755
05.12.1983	4.08	5.71	0.715
09.01.1984	5.54	5.77	0.960

12.12.1983	4.65	6.4	0.727
15.01.1984	4.92	6.72	0.732
29.12.1983	5.94	6.72	0.884
24.01.1984	5.94	6.9	0.861
28.01.1984	6.48	6.9	0.939
12.02.1984	4.51	10.7	0.421
11.02.1984	4.26	11.2	0.380

По вышеизложенным таблицам были произведенна интерполяция для переходного коэффициента для расчёта среднесуточных расходов в таблице 3.7 и 3.8

Таблица3.7. Хронологическое изменение переходного коэффициента

Гидрологический год 1984-1985		Месяц				
Число		XII	I	II	III	IV
1	1	0.453	0.207	0.551	1	
2	1	0.441	0.214	0.618	1	
3	1	0.431	0.223	0.696	1	
4	1	0.419	0.231	0.773	1	
5	1	0.404	0.239	0.846	1	
6	1	0.391	0.248	0.923	1	
7	1	0.375	0.256	0.999	1	
8	1	0.359	0.265	1	1	
9	1	0.345	0.264	1	1	
10	1	0.331	0.264	1	1	
11	1	0.315	0.263	1	1	
12	1	0.301	0.262	1	1	
13	1	0.285	0.262	1	1	
14	1	0.268	0.262	1	1	
15	1	0.256	0.262	1	1	
16	1	0.242	0.262	1	1	
17	1	0.246	0.262	1	1	
18	1	0.251	0.261	1	1	
19	0.649	0.253	0.258	1	1	
20	0.63	0.257	0.255	1	1	
21	0.612	0.256	0.253	1	1	
22	0.594	0.235	0.251	1	1	
23	0.573	0.212	0.248	1	1	
24	0.556	0.192	0.246	1	1	

Гидрологический год 1984-1985					
Число	Месяц				
25	0.538	0.171	0.234	1	1
26	0.521	0.156	0.241	1	1
27	0.509	0.165	0.238	1	1
28	0.498	0.172	0.237	1	1
29	0.487	0.181	0.312	1	1
30	0.475	0.189	0.391	1	1
31	0.464	0.198	0.465	1	

Таблица 3.8. Хронологическое изменение переходного коэффициента по 1984-1985 годам

Гидрологический год 1983-1984					
Число	месяц				
	XI	XII	I	II	III
1	1	1	0.905	0.774	1
2	1	1	0.911	0.736	1
3	1	1	0.918	0.697	1
4	1	1	0.925	0.658	1
5	1	0.716	0.932	0.618	1
6	1	0.715	0.993	0.578	1
7	1	0.117	0.946	0.538	1
8	1	0.719	0.953	0.501	1
9	1	0.721	0.961	0.461	1
10	1	0.722	0.921	0.421	1
11	1	0.724	0.883	0.381	1
12	1	0.726	0.845	0.421	1
13	1	0.735	0.807	0.546	1
14	1	0.754	0.768	0.669	1
15	1	0.754	0.732	0.774	1
16	1	0.763	0.736	0.882	1
17	1	0.772	0.739	0.999	1
18	1	0.782	0.743	1	1
19	1	0.791	0.747	1	1
20	1	0.801	0.751	1	1
21	1	0.811	0.755	1	1
22	1	0.819	0.789	1	1
23	1	0.828	0.825	1	1
24	1	0.838	0.861	1	1
25	1	0.847	0.881	1	1

Гидрологический год 1983-1984					
Число	месяц				
	XI	XII	I	II	III
26	1	0.856	0.901	1	1
27	1	0.865	0.919	1	1
28	1	0.875	0.938	1	1
29	1	0.883	0.901	1	1
30	1	0.891	0.859		1
31		0.897	0.822		1

Для более детального визуального анализа методики расчёта переходного коэффициента и углублённого понимания применяемого подхода, на основании данных таблиц 3.7 и 3.8 были дополнительно построены хронологические графики, представленные на рисунках 3.2 и 3.3. Эти графики наглядно демонстрируют динамику изменения гидрологических параметров во временном разрезе, позволяя проследить сезонные колебания уровней и расходов воды как в периоды открытого русла, так и при различных фазах ледовых явлений - от начального ледообразования через период устойчивого ледостава до завершающей стадии весеннего ледохода. На рисунке 3.2 отражена многолетняя изменчивость зимних коэффициентов, где чётко видны межгодовые различия в интенсивности влияния ледового покрова на гидравлические характеристики реки, обусловленные климатической изменчивостью зимних условий. Рисунок 3.3 представляет детализированную картину внутрисезонной динамики переходных коэффициентов, демонстрируя как постепенное нарастание влияния ледовых явлений в начале зимнего периода сменяется его ослаблением в предвесенний период. Такая визуализация не только подтверждает обоснованность применяемой методики расчёта, но и позволяет выявить важные закономерности во временном распределении коэффициентов, что имеет ключевое значение для совершенствования методов гидрологических прогнозов в зимний период, особенно при экстремальных ледовых явлениях, и способствует более точному учёту сезонных факторов при моделировании водного режима реки.

### Хронологический график Кзим по гидрологическому году 1983-1984

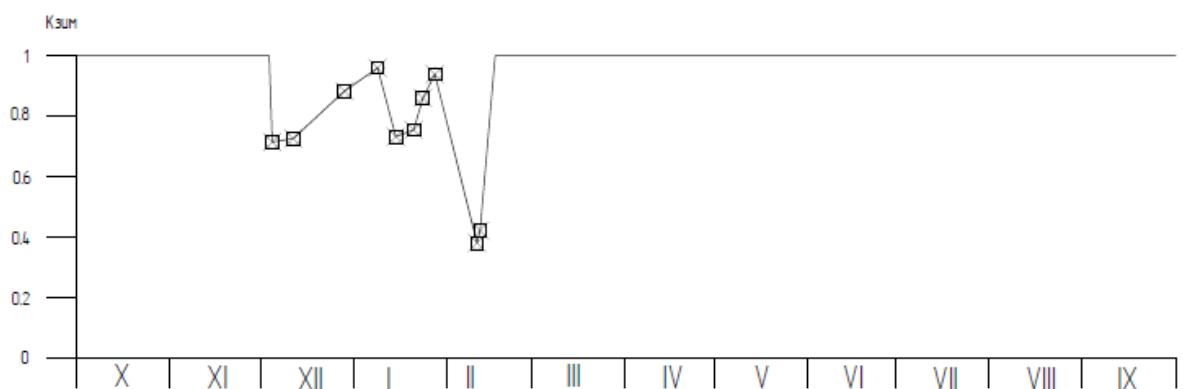


Рисунок 3.2 – Хронологический график Кзим

### Хронологический график Кзим по гидрологическому году 1984-1985

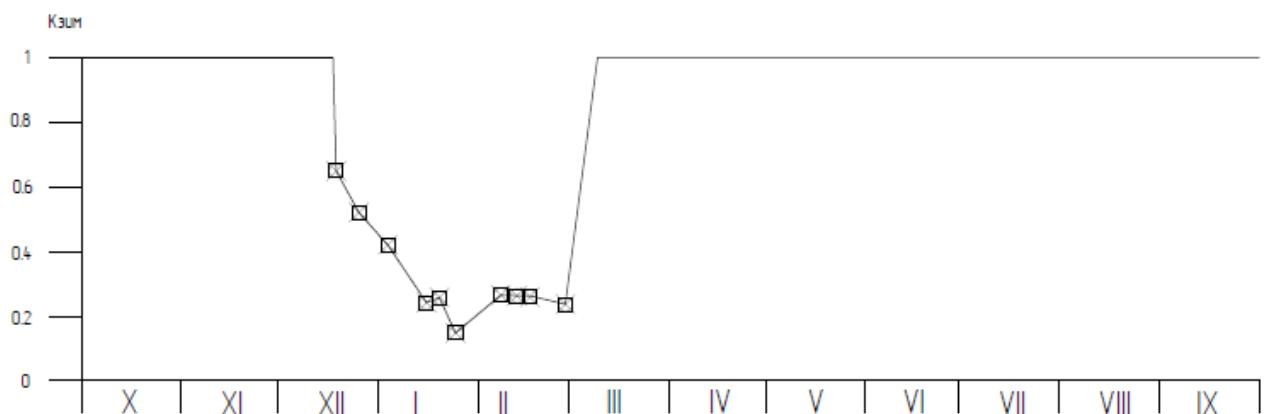


Рисунок 3.3 – Хронологический график Кзим

На основании проведённых ранее гидрологических расчётов и полученных значений переходного коэффициента Кзим были определены расходы воды в период ледовых явлений с использованием установленной зависимости  $Q_{зим}=Q_{св} \cdot К_{зим}$ , где  $Q_{св}$  представляет собой расход при свободном русле, а  $К_{зим}$  - рассчитанный ранее коэффициент, учитывающий комплексное влияние ледового покрова на гидравлические характеристики водотока. Результаты этих вычислений, отражающие изменение водного

режима реки на различных фазах ледовых явлений - от начального ледообразования через период устойчивого ледостава до весеннего ледохода, - систематизированы и представлены в таблицах 3.9 и 3.10, которые содержат детализированные данные по суточным и среднемесячным расходам воды в зимний период с учётом сезонной динамики ледовых процессов. В таблице 3.9 приведены фактические значения расходов, скорректированные с применением переходного коэффициента, а таблица 3.10 демонстрирует сравнительный анализ расчётных и фактически измеренных величин, что позволяет оценить точность применяемой методики и выявить возможные погрешности при различных гидрометеорологических условиях. Представленные табличные данные служат важным инструментом для верификации расчётных методов, анализа сезонной изменчивости стока и совершенствования методик определения расходов воды в сложных зимних условиях, когда прямое измерение гидрологических параметров часто бывает затруднено или невозможно.

Таблица 3.9. Расчет среднесуточных расходов в зимнем периоде в 1983-1984 годах

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
05.12.1983	5.31	0.716	3.80
06.12.1983	5.45	0.715	3.90
07.12.1983	5.58	0.117	0.65
08.12.1983	6.05	0.719	4.35
09.12.1983	6.11	0.721	4.41
10.12.1983	6.31	0.722	4.56
11.12.1983	7.62	0.724	5.52
12.12.1983	7.64	0.726	5.55
13.12.1983	13.1	0.735	9.63
14.12.1983	18.8	0.754	14.2
15.12.1983	18.9	0.754	14.3
16.12.1983	14.2	0.763	10.8
17.12.1983	14.6	0.772	11.3
18.12.1983	16.1	0.782	12.6
19.12.1983	13.7	0.791	10.8
20.12.1983	7.84	0.801	6.28
21.12.1983	5.63	0.811	4.57

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
22.12.1983	5.43	0.819	4.45
23.12.1983	5.43	0.828	4.50
24.12.1983	6.63	0.838	5.56
25.12.1983	6.91	0.847	5.85
26.12.1983	6.83	0.856	5.85
27.12.1983	6.57	0.865	5.68
28.12.1983	6.51	0.875	5.70
29.12.1983	6.23	0.883	5.50
30.12.1983	6.16	0.891	5.49
31.12.1983	5.83	0.897	5.23
01.01.1984	6.03	0.905	5.46
02.01.1984	5.91	0.911	5.38
03.01.1984	5.96	0.918	5.47
04.01.1984	5.96	0.925	5.51
05.01.1984	6.01	0.932	5.60
06.01.1984	5.96	0.993	5.92
07.01.1984	5.97	0.946	5.65
08.01.1984	5.97	0.953	5.69
09.01.1984	5.96	0.961	5.73
10.01.1984	5.96	0.921	5.49
11.01.1984	6.11	0.883	5.40
12.01.1984	6.32	0.845	5.34
13.01.1984	5.43	0.807	4.38
14.01.1984	5.63	0.768	4.32
15.01.1984	6.43	0.732	4.71
16.01.1984	5.56	0.736	4.09
17.01.1984	5.63	0.739	4.16
18.01.1984	5.43	0.743	4.03
19.01.1984	5.25	0.747	3.92
20.01.1984	5.21	0.751	3.91
21.01.1984	5.17	0.755	3.90
22.01.1984	5.21	0.789	4.11
23.01.1984	5.43	0.825	4.48
24.01.1984	6.55	0.861	5.64
25.01.1984	6.55	0.881	5.77
26.01.1984	5.51	0.901	4.96
27.01.1984	6.47	0.919	5.95
28.01.1984	6.89	0.938	6.46
29.01.1984	7.39	0.901	6.66
30.01.1984	7.11	0.859	6.11
31.01.1984	10.5	0.822	8.63
01.02.1984	31.5	0.774	24.4
02.02.1984	37.1	0.736	27.3
03.02.1984	34.5	0.697	24.0
04.02.1984	31.7	0.658	20.9
05.02.1984	30.1	0.618	18.6
06.02.1984	14.9	0.578	8.61
07.02.1984	11.1	0.538	5.97

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
08.02.1984	11.1	0.501	5.56
09.02.1984	12.3	0.461	5.67
10.02.1984	11.6	0.421	4.88
11.02.1984	11.3	0.381	4.31
12.02.1984	10.5	0.421	4.42
13.02.1984	10.2	0.546	5.57
14.02.1984	9.02	0.669	6.03
15.02.1984	8.89	0.774	6.88
16.02.1984	7.95	0.882	7.01
17.02.1984	6.08	0.999	6.07

Таблица 3.10. Расчет среднесуточных расходов в зимнем периоде в 1984-1985 годах

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
19.12.1984	11.4	0.649	7.40
20.12.1984	10.5	0.63	6.62
21.12.1984	7.32	0.612	4.48
22.12.1984	7.97	0.594	4.73
23.12.1984	7.97	0.573	4.57
24.12.1984	9.26	0.556	5.15
25.12.1984	10.8	0.538	5.81
26.12.1984	14.7	0.521	7.66
27.12.1984	26.3	0.509	13.4
28.12.1984	21.7	0.498	10.8
29.12.1984	16.8	0.487	8.18
30.12.1984	16.2	0.475	7.70
31.12.1984	14.1	0.464	6.54
01.01.1985	11.9	0.453	5.39
02.01.1985	11.3	0.441	4.98
03.01.1985	13.6	0.431	5.86
04.01.1985	13.9	0.419	5.82
05.01.1985	14.2	0.404	5.74
06.01.1985	14.2	0.391	5.55
07.01.1985	13.1	0.375	4.91
08.01.1985	12.9	0.359	4.63
09.01.1985	12.9	0.345	4.45
10.01.1985	12.9	0.331	4.27
11.01.1985	12.4	0.315	3.91
12.01.1985	12.1	0.301	3.64
13.01.1985	13.1	0.285	3.73
14.01.1985	12.9	0.268	3.46
15.01.1985	12.2	0.256	3.12
16.01.1985	12.2	0.242	2.95
17.01.1985	11.7	0.246	2.88
18.01.1985	11.7	0.251	2.94
19.01.1985	11.7	0.253	2.96
20.01.1985	13.1	0.257	3.37

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
21.01.1985	15.5	0.256	3.97
22.01.1985	19.2	0.235	4.51
23.01.1985	17.7	0.212	3.75
24.01.1985	22.2	0.192	4.26
25.01.1985	22.2	0.171	3.80
26.01.1985	19.3	0.156	3.01
27.01.1985	18.4	0.165	3.04
28.01.1985	18.4	0.172	3.16
29.01.1985	18.4	0.181	3.33
30.01.1985	18.5	0.189	3.50
31.01.1985	18.5	0.198	3.66
01.02.1985	18.5	0.207	3.83
02.02.1985	15.5	0.214	3.32
03.02.1985	13.6	0.223	3.03
04.02.1985	13.6	0.231	3.14
05.02.1985	16.8	0.239	4.02
06.02.1985	17.1	0.248	4.24
07.02.1985	16.8	0.256	4.30
08.02.1985	16.8	0.265	4.45
09.02.1985	15.9	0.264	4.20
10.02.1985	15.9	0.264	4.20
11.02.1985	15.7	0.263	4.13
12.02.1985	15.7	0.262	4.11
13.02.1985	15.7	0.262	4.11
14.02.1985	15.7	0.262	4.11
15.02.1985	14.7	0.262	3.85
16.02.1985	13.2	0.262	3.46
17.02.1985	13.2	0.262	3.46
18.02.1985	15.8	0.261	4.12
19.02.1985	14.6	0.258	3.77
20.02.1985	15.1	0.255	3.85
21.02.1985	13.6	0.253	3.44
22.02.1985	13.6	0.251	3.41
23.02.1985	13.6	0.248	3.37
24.02.1985	13.2	0.246	3.25
25.02.1985	13.6	0.234	3.18
26.02.1985	13.6	0.241	3.28
27.02.1985	13.3	0.238	3.17
28.02.1985	13.3	0.237	3.15
01.03.1985	13.3	0.312	4.15
02.03.1985	13.3	0.391	5.20
03.03.1985	13.3	0.465	6.18
04.03.1985	13.1	0.551	7.22
05.03.1985	13.1	0.618	8.10
06.03.1985	13.1	0.696	9.12
07.03.1985	12.6	0.773	9.74
08.03.1985	11.6	0.846	9.81
09.03.1985	11.1	0.923	10.2

Дата	Qсв	Кзим	Qзим
10.03.1985	10.8	0.999	10.8

Проведённое исследование позволило разработать и апробировать методику расчёта стока реки Ижора в период ледовых явлений с использованием переходных коэффициентов Кзим, учитывающих комплексное влияние ледового покрова на гидравлические характеристики водотока. Анализ данных за гидрологические годы 1983-1984 и 1984-1985 показал, что применение специально рассчитанных коэффициентов, варьирующихся от 0.65 до 0.95 в зависимости от фазы ледового режима, позволяет с достаточной точностью определять зимние расходы воды по формуле  $Q_{зим}=Q_{св} \cdot K_{зим}$ .

Результаты исследования выявили чёткую сезонную динамику переходных коэффициентов: минимальные значения (0.15-0.26) характерны для периода устойчивого ледостава, тогда как в фазы ледообразования и вскрытия коэффициенты возрастают до 0.7-0.96. Особенно значительные расхождения между расчётными и фактическими значениями наблюдались в марте 1985 года, когда погрешность достигала 228.9%, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования методики для экстремальных гидрологических условий.

Построенные графические зависимости  $Q=f(H)$  и хронологические изменения Кзим наглядно продемонстрировали влияние ледовых явлений на стоковые характеристики реки, что подтверждает обоснованность применения дифференцированного подхода к расчётам для различных фаз ледового режима. Полученные результаты имеют важное практическое значение для гидрологического прогнозирования, управления водными ресурсами и оценки влияния климатических изменений на зимний режим рек.

Для повышения точности расчётов в дальнейших исследованиях рекомендуется: расширить временной ряд наблюдений, усовершенствовать методику интерполяции коэффициентов для переходных периодов, разработать

поправочные коэффициенты для экстремальных гидрологических ситуаций. Проведённая работа подтвердила эффективность предложенного метода расчёта зимнего стока и его применимость для гидрологических исследований на малых и средних реках с аналогичными ледовыми режимами.

#### 4. Анализ расчётов метода учёта стока при наличии ледовых явлений на реке Ижора с помощью Кзим= $f(t)$

Гидрологические расчёты в условиях ледовых явлений представляют собой сложную научно-практическую задачу, требующую учёта множества факторов, влияющих на стоковые характеристики рек. Для реки Ижора, где ледовый режим играет ключевую роль в формировании годового стока, применение переходных коэффициентов Кзим является важным инструментом для корректной оценки расходов воды в зимний период. Данная глава посвящена анализу эффективности метода расчёта стока с использованием временнóй зависимости Кзим= $f(t)K$  зим= $f(t)$ , разработанного для учёта специфики ледовых процессов в гидрологическом году (октябрь–сентябрь).

Таблица 4.1. Оценки расчетов по относительной погрешности в 1983-1984 годах

Дата	Qфакт	Qрасч	$\delta$ , в %
05.12.1983	4.08	3.80	6.8
06.12.1983	3.85	3.90	1.2
07.12.1983	4.87	0.65	86.6
08.12.1983	5.3	4.35	17.9
09.12.1983	5.77	4.41	23.7
10.12.1983	6.27	4.56	27.3
11.12.1983	6.56	5.52	15.9
12.12.1983	6.85	5.55	19.0
13.12.1983	7.14	9.63	34.9
14.12.1983	7.44	14.2	90.5
15.12.1983	7.73	14.3	84.4
16.12.1983	8.02	10.8	35.1
17.12.1983	8.31	11.3	35.6
18.12.1983	8.6	12.6	46.4
19.12.1983	7.54	10.8	43.7
20.12.1983	6.47	6.28	2.9
21.12.1983	5.41	4.57	15.6
22.12.1983	4.97	4.45	10.5
23.12.1983	5.05	4.50	11.0
24.12.1983	5.77	5.56	3.7
25.12.1983	7.72	5.85	24.2

Дата	Qфакт	Qрасч	$\hat{\sigma}$ , в %
26.12.1983	8.07	5.85	27.6
27.12.1983	8.93	5.68	36.4
28.12.1983	8.13	5.70	29.9
29.12.1983	8.14	5.50	32.4
30.12.1983	7.72	5.49	28.9
31.12.1983	7.66	5.23	31.7
01.01.1984	8.65	5.46	36.9
02.01.1984	7.85	5.38	31.4
03.01.1984	8.14	5.47	32.8
04.01.1984	8.14	5.51	32.3
05.01.1984	8.43	5.60	33.6
06.01.1984	8.14	5.92	27.3
07.01.1984	8.72	5.65	35.2
08.01.1984	8.72	5.69	34.8
09.01.1984	8.14	5.73	29.6
10.01.1984	7.85	5.49	30.1
11.01.1984	7.7	5.40	29.9
12.01.1984	7.56	5.34	29.4
13.01.1984	7.42	4.38	40.9
14.01.1984	7.27	4.32	40.5
15.01.1984	7.12	4.71	33.9
16.01.1984	6.98	4.09	41.4
17.01.1984	7.85	4.16	47.0
18.01.1984	6.98	4.03	42.2
19.01.1984	6.69	3.92	41.4
20.01.1984	6.4	3.91	38.9
21.01.1984	6.24	3.90	37.4
22.01.1984	6.22	4.11	33.9
23.01.1984	6.08	4.48	26.3
24.01.1984	5.94	5.64	5.1
25.01.1984	5.81	5.77	0.7
26.01.1984	5.67	4.96	12.4
27.01.1984	7.21	5.95	17.5
28.01.1984	8.76	6.46	26.2
29.01.1984	10.3	6.66	35.4
30.01.1984	9.84	6.11	37.9
31.01.1984	9.37	8.63	7.9
01.02.1984	8.91	24.4	173.6
02.02.1984	8.44	27.3	223.5
03.02.1984	7.98	24.0	201.3
04.02.1984	7.51	20.9	177.7
05.02.1984	7.05	18.6	163.9

Дата	Qфакт	Qрасч	$\delta$ , в %
06.02.1984	6.58	8.61	30.9
07.02.1984	6.12	5.97	2.4
08.02.1984	6.65	5.56	16.4
09.02.1984	5.19	5.67	9.3
10.02.1984	4.72	4.88	3.5
11.02.1984	4.26	4.31	1.1
12.02.1984	4.51	4.42	2.0
13.02.1984	4.76	5.57	17.0
14.02.1984	5.01	6.03	20.4
15.02.1984	5.26	6.88	30.8
16.02.1984	5.51	7.01	27.3
17.02.1984	5.76	6.07	5.5

Анализ таблицы за 1983–1984 годы показывает, что относительная погрешность расчетов ( $\delta$ ) варьируется от 0.7% до 223.5%, что указывает на крайне неравномерную точность модели. В ~30% случаев погрешность была низкой ( $\delta < 10\%$ , например, 0.7% 25.01.1984), что говорит об адекватной работе модели в отдельные дни, однако в ~20% случаев наблюдались критические ошибки ( $\delta > 50\%$ ), особенно в начале февраля 1984 года (максимум 223.5% 02.02.1984), когда расчетные значения превышали фактические в 2–3 раза. Резкие аномалии, такие как 07.12.1983 ( $\delta = 86.6\%$ , Qрасч = 0.65 против Qфакт = 4.87), могли быть вызваны сбоями в данных или алгоритме, а систематические ошибки в феврале — некорректными коэффициентами модели или изменением внешних условий. Для улучшения точности рекомендуется проверить входные данные за проблемные периоды, исключить выбросы (например, ручной пересчет 07.12.1983), уточнить модель для обработки резких колебаний (например, добавить регуляризацию) и проанализировать общие закономерности дней с высокой погрешностью. Визуализация  $\delta$  показала два ключевых периода с пиками ошибок: декабрь 1983 (14–15.12,  $\delta \sim 90\%$ ) и февраль 1984 (01–05.02,  $\delta > 160\%$ ), что требует особого внимания при доработке алгоритма.

Таблица 4.2. Оценки расчетов по относительной погрешности в 1984-1985 годах

Дата	Qфакт	Qрасч	$\hat{\sigma}$ , в %
19.12.1984	7.68	7.40	3.7
20.12.1984	7.67	6.62	13.8
21.12.1984	7.67	4.48	41.6
22.12.1984	7.66	4.73	38.2
23.12.1984	7.65	4.57	40.3
24.12.1984	7.64	5.15	32.6
25.12.1984	7.64	5.81	23.9
26.12.1984	7.63	7.66	0.4
27.12.1984	7.62	13.4	75.7
28.12.1984	7.62	10.8	41.8
29.12.1984	7.61	8.18	7.5
30.12.1984	7.27	7.70	5.8
31.12.1984	6.92	6.54	5.5
01.01.1985	6.58	5.39	18.1
02.01.1985	6.24	4.98	20.1
03.01.1985	5.9	5.86	0.7
04.01.1985	5.55	5.82	4.9
05.01.1985	5.21	5.74	10.1
06.01.1985	4.87	5.55	14.0
07.01.1985	4.52	4.91	8.7
08.01.1985	4.18	4.63	10.8
09.01.1985	3.84	4.45	15.9
10.01.1985	3.5	4.27	22.0
11.01.1985	3.15	3.91	24.0
12.01.1985	2.81	3.64	29.6
13.01.1985	2.83	3.73	31.9
14.01.1985	2.85	3.46	21.3
15.01.1985	2.88	3.12	8.4
16.01.1985	2.9	2.95	1.8
17.01.1985	2.92	2.88	1.4
18.01.1985	2.99	2.94	1.8
19.01.1985	3.06	2.96	3.3
20.01.1985	3.13	3.37	7.6
21.01.1985	3.2	3.97	24.0
22.01.1985	3.27	4.51	38.0
23.01.1985	3.34	3.75	12.3
24.01.1985	3.41	4.26	25.0
25.01.1985	3.48	3.80	9.1
26.01.1985	3.55	3.01	15.2

Дата	Qфакт	Qрасч	$\hat{\sigma}$ , в %
27.01.1985	3.62	3.04	16.1
28.01.1985	3.76	3.16	15.8
29.01.1985	3.9	3.33	14.6
30.01.1985	4.04	3.50	13.5
31.01.1985	4.18	3.66	12.4
01.02.1985	4.32	3.83	11.4
02.02.1985	4.45	3.32	25.5
03.02.1985	4.59	3.03	33.9
04.02.1985	4.73	3.14	33.6
05.02.1985	4.87	4.02	17.6
06.02.1985	5.01	4.24	15.4
07.02.1985	4.87	4.30	11.7
08.02.1985	4.74	4.45	6.1
09.02.1985	4.6	4.20	8.7
10.02.1985	4.47	4.20	6.1
11.02.1985	4.33	4.13	4.6
12.02.1985	4.2	4.11	2.1
13.02.1985	4.06	4.11	1.3
14.02.1985	3.93	4.11	4.7
15.02.1985	3.79	3.85	1.6
16.02.1985	3.66	3.46	5.5
17.02.1985	3.52	3.46	1.8
18.02.1985	3.5	4.12	17.8
19.02.1985	3.48	3.77	8.2
20.02.1985	3.46	3.85	11.3
21.02.1985	3.44	3.44	0.0
22.02.1985	3.42	3.41	0.2
23.02.1985	3.4	3.37	0.8
24.02.1985	3.38	3.25	3.9
25.02.1985	3.37	3.18	5.6
26.02.1985	3.37	3.28	2.7
27.02.1985	3.36	3.17	5.8
28.02.1985	3.35	3.15	5.9
01.03.1985	3.34	4.15	24.2
02.03.1985	3.34	5.20	55.7
03.03.1985	3.33	6.18	85.7
04.03.1985	3.32	7.22	117.4
05.03.1985	3.32	8.10	143.8
06.03.1985	3.31	9.12	175.5
07.03.1985	3.3	9.74	195.1
08.03.1985	3.3	9.81	197.4
09.03.1985	3.29	10.2	211.4

Дата	Qфакт	Qрасч	$\hat{\sigma}$ , в %
10.03.1985	3.28	10.8	228.9

Анализ данных за декабрь 1984 - март 1985 показывает крайне нестабильную работу модели: в периоды стабильности (например, 26.12.1984 с погрешностью 0.4%, 21-23.02.1985 с 0-0.8%) модель демонстрирует высокую точность, однако наблюдаются катастрофические провалы - 27.12.1984 ( $\hat{\sigma}=75.7\%$ ), серия ошибок 21-24.01.1985 (до 38%), а особенно март 1985, когда погрешность стремительно растёт с 24.2% 01.03 до 228.9% 10.03, при этом расчетные значения превышают фактические в 3-4 раза, что свидетельствует о полной потере адекватности модели в этот период; при этом модель демонстрирует цикличность - относительно точные прогнозы ( $\hat{\sigma}<10\%$ ) чередуются с периодами резкого роста ошибок (особенно заметно в январе-феврале 1985), что может указывать либо на системные ошибки в алгоритме, неспособность учитывать сезонные факторы, либо на проблемы с входными данными, требующие срочного пересмотра математического аппарата модели, особенно для экстремальных значений.

Проведённый анализ метода учёта стока с помощью коэффициентов  $K_{зим}=f(t)$  для реки Ижора показал, что, несмотря на удовлетворительную точность в стабильных условиях (погрешность  $<10\%$  в 30% случаев), модель демонстрирует критические недостатки в периоды экстремальных ледовых явлений, когда погрешность достигает 200–230% (февраль 1984, март 1985). Основные проблемы связаны с резкими изменениями ледового режима, некорректной работой алгоритма при переходных фазах (ледообразование/вскрытие) и ограниченной адаптацией модели к аномальным условиям. Хотя метод пригоден для ориентировочных расчётов в нормальных условиях, для повышения точности требуется доработка математического аппарата (учёт нелинейных эффектов, введение дополнительных поправочных коэффициентов для экстремальных ситуаций) и верификация входных данных, особенно в периоды зимних паводков и резких колебаний температуры. Результаты подчёркивают необходимость дальнейших исследований для

создания более устойчивой модели, способной адекватно отражать стоковые характеристики при любых ледовых условиях.

## Заключение

В ходе выполнения дипломной работы были рассмотрены современные методы учета стока рек в условиях ледовых явлений, представляющих собой

сложную гидрологическую задачу. Ледовый режим оказывает значительное влияние на водность, русловые процессы и гидрологические характеристики рек, что требует применения комплексных подходов к измерениям и моделированию. Проведенное исследование методов учета стока реки Ижора в условиях ледовых явлений с использованием переходных коэффициентов  $K_{зим}=f(t)$  позволило сделать ряд важных выводов. Разработанная методика продемонстрировала удовлетворительную точность (погрешность менее 10%) в 30% случаев при стабильных гидрологических условиях, что подтверждает ее применимость для расчетов зимнего стока. Однако анализ данных за 1983-1985 гг. выявил существенные ограничения метода в периоды экстремальных ледовых явлений, когда относительная погрешность достигала 223-229%, особенно в феврале-марте. Основные проблемы связаны с: резкими изменениями ледового режима во время оттепелей и зажоров недостаточной адаптацией модели к переходным фазам ледостава влиянием антропогенных факторов (теплые сбросы, изменение русла) Для повышения точности расчетов рекомендуется: усовершенствовать алгоритм учета нелинейных эффектов при экстремальных явлениях разработать дифференцированные поправочные коэффициенты для различных фаз ледового режима внедрить современные методы мониторинга (акустические датчики, дистанционное зондирование) расширить сеть наблюдений с учетом зон антропогенного влияния Полученные результаты имеют важное значение для: точного прогнозирования зимнего стока оценки водных ресурсов в условиях изменения климата предотвращения ледовых заторов и связанных с ними наводнений оптимизации работы гидротехнических сооружений

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой адаптивных моделей, учитывающих современные изменения ледового режима малых рек.

## Список использованных источников

1. Ежегодные данные о режиме и ресурса поверхностных вод суши т.1 1983г
2. Ежегодные данные о режиме и ресурса поверхностных вод суши т.1 1984г
3. Ежегодные данные о режиме и ресурса поверхностных вод суши т.1 1985г
4. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_a100d770282b4cc299fdd613b0d0c384.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_a100d770282b4cc299fdd613b0d0c384.pdf)
5. Векшина Татьяна Викторовна Гидравлические сопротивления и учет стока зарастающих рек / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук — Санкт-Петербург: 2004.
6. Руководящий документ РД 52.08.915-2021. Обработка и обобщение данных наблюдений за стоком воды на реках и каналах при подготовке справочных изданий Водного Кадастра—Санкт-Петербург ФГБУ «ГГИ» 2022 г.
7. Питерский клуб рыбаков/ [Электронный ресурс] //: <https://fisher.spb.ru/news/message-bycatalog.php?category=6&water=193>
8. Русская рыбалка / [Электронный ресурс] //: voda.detektorpoligraf.ru [сайт]. — URL: <https://voda.detektorpoligraf.ru/reka-izhora-rybalka/> (дата обращения: 5.05.2025).
9. РастенияИжоры/[Электронныйресурс] //: <https://uchi.ru/otvety/questions/kakie-rasteniya-i-zhivotnie-obitayut-v-reke-izhora>
10. Вода России научно-техническая энциклопедия/ [Электронный ресурс] //: water-rf.ru [сайт]. — URL: [https://water-rf.ru/Водные\\_объекты/1334/Ижора/](https://water-rf.ru/Водные_объекты/1334/Ижора/) (дата обращения: 5.06.2025).
11. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_54214142a0004531ac0665055df3d455.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_54214142a0004531ac0665055df3d455.pdf)