



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

на тему **Расчет расходов воды при
неустановившемся движении потока
(на примере реки Свирь)**

Исполнитель Штейнмиллер Михаил Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Левин
(подпись)

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

Гайдукова Е.В.
(фамилия, имя, отчество)

«02» 06 2025г.

Санкт-Петербург
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕУСТАНОВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА..... | 17 |
| 1.1. Понятие и особенности неустановившегося потока | 17 |
| 1.2. Классификация неустановившихся процессов | 19 |
| 1.3. Методы расчета расходов воды | 21 |
| ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ СВИРЬ | 25 |
| 2.1. Географическое положение и гидрологические условия | 25 |
| 2.2. Исторические данные наблюдений и расходов воды | 26 |
| 2.3. Особенности формирования неустановившихся процессов на реке Свирь | 28 |
| ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СБОР ДАННЫХ | 33 |
| 3.1. Построение программ наблюдений | 33 |
| 3.2. Оборудование и методика полевых работ | 35 |
| 3.3. Обработка и анализ полученных данных..... | 37 |
| ГЛАВА 4. РАСЧЕТ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ НЕУСТАНОВИШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ | 41 |
| 4.1. Построение расчетной схемы..... | 41 |
| 4.2. Расчет расходов воды и анализ результатов | 43 |
| 4.3. Сравнение расчетных данных с фактическими наблюдениями | 45 |
| ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ | 49 |
| 5.1. Проблемы существующих методов и предложенные пути их решения | 49 |
| 5.2. Практические рекомендации по расчету расходов воды..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 5.3. Оценка эффективности и область применения рекомендаций | 53 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 58 |

ВВЕДЕНИЕ

Изучение расходов воды при неустановившемся движении потока является чрезвычайно важной задачей для эффективного управления водными ресурсами. Водные ресурсы играют ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности как человека, так и природных экосистем. Оценка расходов воды позволяет не только понимать динамику водных потоков, но и направлять усилия на предотвращение негативных последствий, связанных с водоснабжением, а также на защиту населения и инфраструктуры от паводков и других экстренных ситуаций. На примере реки Свирь, которая является одной из значимых водных артерий северо-западной России, данная проблема приобретает особое значение.

Река Свирь связывает два крупных водоема — Ладожское и Онежское озера, и играет важную роль в экосистеме региона, влияя на климатические условия, флору и фауну. Однако она также подвержена различным изменениям, обусловленным как природными, так и антропогенными факторами. Изменение режима стока в результате изменения климата, человеческой деятельности и изменений в использовании земель ведет к возникновению неустановившихся процессов, которые могут значительно изменить режим расходов воды. Поэтому научные исследования, сфокусированные на неустановившемся движении потока, являются актуальными и необходимыми.

Актуальность исследования расходов воды при неустановившемся движении потока также обуславливается необходимостью разработки эффективных моделей прогнозирования паводков. Прогнозирование и управление паводками требуют знания о том, как вода ведет себя в условиях изменяющихся факторов, таких как осадки или температурные колебания. Сбор и анализ данных о расходах воды позволяют создать более точные прогнозы, что в свою очередь способно предотвратить возможные

чрезвычайные ситуации, снижая риски для населения и экономики регионов.

Таким образом, данное исследование направлено на более глубокое понимание динамики движения воды в реке Свирь в условиях неустановившегося привлечения потока. Это поможет в дальнейшем на практике внедрять более эффективные методы управления водными ресурсами и адаптации к изменениям, что в итоге повысит уровень безопасности и устойчивости как локального, так и регионального уровня. Изучение данной темы подчеркивает необходимость комплексного подхода к вопросам управления водными ресурсами и их рационального использования, что делает ее крайне актуальной для исследований в области гидрологии и экологии [18].

Цель данного исследования заключается в разработке и апробации методов расчета расходов воды в условиях неустановившегося движения потока на примере реки Свирь. Это позволит не только повысить точность расчетов, но и создать новые инструменты для прогнозирования изменений водного баланса в данной акватории. Таким образом, основная задача состоит в том, чтобы адаптировать существующие методы гидрологических расчетов к специфике неустановившихся потоков, что предполагает анализ динамических изменений как в самом водоеме, так и в его окрестностях.

Неустановившееся движение потока — это явление, которое происходит, когда скорость или направление движения воды подвержены изменениям под воздействием различных факторов. Например, любые изменения в режимах осадков, температурные колебания, а также деятельность человека могут привести к разнообразным последствиям, включая изменение уровня воды, колебания в расходах и развитие паводков. Разработка методов, позволяющих точно учитывать эти факторы, необходима для надежных гидрологических моделей.

В данной работе также планируется апробация методов на реальных данных, полученных в результате полевых исследований реки Свирь, что обеспечит обмен теории с практикой и даст возможность проверить актуальность и действенность созданных моделей. Сбор данных о расходах и их анализ являются основополагающими для понимания всех процессов, протекающих в реке, что, в свою очередь, позволяет оценить состояние экосистемы и выработать пути ее охраны и восстановления.

Также целью исследования является изучение особенностей формирования неустановившихся процессов в различных гидрологических условиях. Это позволит выявить, какие из методов работают наилучшим образом в определенных ситуациях и какие комбинации факторов необходимо учитывать при расчете расходов воды. Такой комплексный подход может спроектировать более безопасное и надежное управление водными ресурсами в будущем. В конечном счете, успешная реализация данной задачи будет способствовать повышению качества жизни людей, использующих водные ресурсы реки Свирь [24]. Не менее важным аспектом явится и выяснение того, как влияние климатических изменений может в дальнейшем повлиять на практическое использование гидрологических данных для составления прогнозов и моделей [3].

Основные задачи:

В рамках поставленной цели достигнуты следующие задачи, каждое из которых направлено на глубокое и комплексное исследование расходов воды в условиях неустановившегося движения потока, на примере реки Свирь.

1. Анализ теоретических основ неустановившегося движения водных потоков. Важным этапом исследования является изучение ключевых концепций и закономерностей, позволяющих понять динамику неустановившихся потоков. Это включает в себя ознакомление с

основными теориями гидродинамики и их практическим применением к реальным гидрологическим условиям.

2. Обзор существующих методов расчета расходов воды. На данном этапе будет произведен анализ существующих подходов к расчету гидрологических данных. Это даст возможность выявить как сильные, так и слабые стороны различных методов и оценить их применимость в условиях неустановленного потока.

3. Изучение гидрографической характеристики р. Свирь. Гидрографическая характеристика реки является ключевым элементом, так как от ее особенностей зависят все последующие расчеты. Это включает в себя анализ режима стока, особенностей русла, его ширины, глубины и других характеристик.

4. Сбор и обработка экспериментальных данных для проведения качественных расчетов необходимо собрать данные о текущих расходах воды, уровнях, а также факторах, влияющих на неустановившийся поток. Обработка данных поможет извлечь полезную информацию и создать надежные модели.

5. Построение расчетной схемы. На этом этапе будет разработана схема, которая позволит объединить всю информацию о расходах, включить полученные данные в единое целое и формализовать подход к расчетам.

6. Проведение расчетов расходов воды. На основе ранее разработанной расчетной схемы и собранных данных будут непосредственно произведены расчеты расходов воды, которые позволят оценить динамику водного потока.

7. Анализ результатов расчетов. Собранные результаты будут анализироваться с целью выявления закономерностей и возможных аномалий, что поможет понять, насколько точными и надежными являются предложенные методы.

8. Сравнение расчетных и наблюдённых расходов. Сравнение полученных данных с результатами наблюдений позволит оценить точность и адекватность используемых методов, а также выявить возможности для их совершенствования.

9. Разработка рекомендаций по совершенствованию методики расчета. На основании полученных выводов будет сформулировано несколько рекомендаций, которые могут быть использованы для улучшения существующих методик расчета расходов воды, что значительно повысит практическую ценность полученных исследований [11]. Ожидается, что предлагаемые усовершенствования будут способствовать не только улучшению методов расчета, но и более эффективному управлению водными ресурсами в условиях меняющегося климата [15].

Объект и предмет исследования

Объектом данного исследования являются процессы неустановившегося движения воды в реке Свирь. Река Свирь является важной водной артерией, объединяющей Онежское и Ладожское озера, и представляет собой уникальную экосистему, подверженную влиянию как природных, так и антропогенных факторов. Неустановившееся движение воды в данной реке обусловлено сложной конфигурацией русла, его гидрографической характеристикой и изменениями в климатических условиях. Изучение этих процессов позволяет глубже понять, как различные факторы влияют на динамику движения воды, а также выявить потенциальные риски, связанные с изменениями в режиме стока.

Предметом исследования являются методы и расчет расходов воды в условиях неустановившегося движения потока. Узкой специализацией данного исследования является разработка и апробация различных подходов к определению расходов воды, включая использование математических моделей, эмпирических данных и современных

гидрологических технологий. В условиях неустановившегося потока традиционные методы могут не дать точного представления о реальных показателях расхода, поэтому необходимо адаптировать существующие теории к практическим условиям реки.

Современные методы расчета расходов воды включают в себя как классические подходы, так и новейшие технологии, такие как гидрографическая съемка, использование датчиков и программного обеспечения для моделирования потоков. Изучение методов и их апробация на реальных данных реки Свирь позволяет создавать более точные прогнозы о движении водных масс, а также несет высокую практическую ценность для управления водными ресурсами.

Таким образом, данное исследование направлено на интеграцию теории и практики в области гидрологии, обеспечивая более глубокое понимание неустановившихся процессов и их применение к реальным условиям реки Свирь. Это позволит создать надежные инструменты для оценки рисков, связанных с изменениями в режиме стока, что важно для разработки мероприятий по предотвращению наводнений и других чрезвычайных ситуаций, связанных с водным балансом региона. Кроме того, результаты исследования должны способствовать созданию более гибкой и адаптивной структуры управления водными ресурсами в условиях меняющегося климата и повышения антропогенного воздействия на водные экосистемы [9]. В конечном счете, предмет и объект исследования определят четкое направление для дальнейшего изучения динамики водного потока и оптимизации управления водными ресурсами [4].

Гипотеза данного исследования заключается в том, что использование современных методов и технологий позволит значительно повысить точность расчета расходов воды при неустановившемся движении потока по сравнению с традиционными подходами. В последние десятилетия наблюдается активное развитие гидрологических

исследований, и внедрение новых технологий и аналитических методик открывает широкие перспективы для более детального понимания процессов, протекающих в водоемах.

Сегодня традиционные методы измерения и расчета расходов воды часто основываются на статических данных и фиксированных моделях, что может не учитывать динамику изменений, происходящих в реальном времени. Необходимо отметить, что потоки воды в реках, таких как Свирь, могут изменяться под влиянием интенсивности осадков, температурных колебаний, а также антропогенных факторов, таких как строительство плотин или изменение использования территорий. Эти факторы становятся критическими в условиях неустановившегося движения потока, что требует более гибких и адаптивных подходов.

Современные методы, включая использование датчиков, автоматизированных систем мониторинга и компьютерных моделей, позволяют оперативно собирать данные о текущем состоянии потока и на основе них проводить анализ и расчеты. Например, системы дистанционного зондирования и применение методов машинного обучения могут существенно улучшить процесс обработки данных и повысить точность расчетов, что, в свою очередь, позволит более точно прогнозировать возможные изменения в режиме стока.

Кроме того, применение новых математических моделей, учитывающих комплексные взаимодействия между различными факторами, будет способствовать улучшению прогнозов и понимания гидрологических процессов. Таким образом, основным положением нашей гипотезы является то, что современные инструменты и методы не только приближают нас к более точным значениям расхода воды, но также помогают идентифицировать и учитывать потенциальные риски, связанные с неустановившимися потоками.

Таким образом, если гипотеза будет подтверждена, это может иметь значительные последствия для управления водными ресурсами, а также для разработки стратегий минимизации влияния негативных факторов на экосистему реки Свирь. Все это делает исследование особенно актуальным и важным для будущих исследований в области гидрологии и экологической безопасности [22]. Успешная реализация этой гипотезы также может открыть новые горизонты для применения современных гидрологических технологий в различных регионах, что станут важным шагом в развитии устойчивого управления водными ресурсами [12].

В результате проведенного исследования были сформулированы несколько ключевых положений, выносимых на защиту, которые основаны на анализе данных и полученных выводах. Эти положения подчеркивают важность выбора методов расчета и их практического применения, а также выявленные особенности неустановившегося движения потока на реке Свирь и рекомендации по улучшению расчетных методик.

1. Обоснование выбора методов расчета. В ходе исследования было доказано, что применение современных математических моделей и технологий, таких как автоматизированные системы мониторинга и анализ данных с использованием машинного обучения, значительно повышает точность вычислений расходов воды в условиях неустановившегося потока. Эти методы позволяют учитывать динамику изменений, происходящих в реках, и обеспечивают более надежные данные для гидрологических исследований. Таким образом, выбор методов, адаптированных к условиям реки Свирь, является оправданным и необходимым для получения действительных результатов.

2. Способы применения данных на практике. Полученные в результате исследования данные о расходах воды могут быть использованы для разработки эффективных стратегий управления водными ресурсами, а также для оптимизации процессов, связанных с профилактикой паводков и

другими экстремальными ситуациями. Эффективное применение рекомендаций, основанных на результатах исследования, будет способствовать устойчивому развитию региона и позволить обеспечить безопасность населенных пунктов, находящихся вблизи реки Свирь.

3. Выявленные особенности неустановившегося движения на р. Свирь. Исследование позволило выявить специфические характеристики динамики водного потока в реке Свирь, включая влияние климатических и антропогенных факторов на изменения в расходе воды. Особенности рельефа, глубины и ширины русла, а также изменение режима стока имеют важное значение для понимания процессов, происходящих в реке. Эта информация может служить основой для дальнейших исследований и для углубленного анализа влияния различных факторов на режим водного потока.

4. Рекомендации по улучшению расчетных методик. На основании проведенных расчетов и анализа полученных данных были предложены рекомендации по совершенствованию существующих методик расчета расходов воды. В число предложений входят внедрение более современных технических средств и программного обеспечения, а также разработка процедур для адаптации методов к изменяющимся условиям. Эти рекомендации направлены не только на повышение точности расчетов, но и на создание более адаптивной системы управления водными ресурсами в условиях изменения климата и антропогенного воздействия.

Таким образом, данные положения подчеркивают важность интеграции современных методов в практическую деятельность по управлению водными ресурсами и демонстрируют необходимость дальнейшего изучения динамики водных потоков для повышения эффективности и надежности гидрологических расчетов [25]. Результаты исследования обеспечивают основу для развития стратегии, направленной на минимизацию негативных последствий и максимизацию использования

водных ресурсов, что является актуальным для обеспечения устойчивого развития региона в долгосрочной перспективе [19].

Актуальность и значимость настоящего исследования обусловлены высокой степенью изученности проблематики расходов воды в гидрологии, однако существует относительно ограниченное количество работ, посвященных анализу неустановившегося движения потока на реках, таких как Свирь. В данной работе выполнен сравнительный анализ современных и традиционных методов расчета расходов воды, применительно к новым данным, полученным в ходе исследования реки Свирь, что и составляет основную новизну исследования.

Во-первых, среди традиционных методов расчета следует выделить методы, основанные на использовании стационарных гидрологических моделей и фиксированных данных о расходах, которые не всегда адекватны для оценки динамики в условиях изменяющегося потока. Эти методы часто не учитывают влияния таких факторов, как резкие колебания осадков, изменения температуры или антропогенные вмешательства в гидрологический режим, что приводит к значительным ошибкам в расчетах. В то же время современные методы, включая эмпирические и численные модели, позволяют учитывать эти изменения и адаптировать подходы к специфике каждого конкретного водоема, в частности, реки Свирь, что подчеркивает новизну исследования.

Во-вторых, в исследовании рассматриваются новые данные, собранные в результате полевых исследований, которые расширяют понимание процессов неустановившегося движения воды в реке Свирь. Эти данные не только подтверждают существующие теории, но и вносят новую информацию в понимание динамики гидрологических процессов в условиях данного региона. Таким образом, работа включает в себя как сравнительный анализ, так и применение новых данных для еще более

глубокого анализа, что является значительным вкладом в изучение проблемы.

В-третьих, анализ и разработка новых алгоритмов расчета, адаптированных к условиям реки Свирь, позволяет предложить решения, которые могут быть использованы для улучшения практики управления водными ресурсами. Эти алгоритмы могут включать в себя методы машинного обучения для прогнозирования потоков на основе полученных данных, что также подчеркивает новизну исследования.

Сравнительный анализ как существующих, так и новых подходов к расчету расходов воды в условиях неустановившегося движения потока создает основу для дальнейших исследований и разработки рекомендаций, что отображает актуальные потребности научного сообщества и органов управления водными ресурсами. В результате данная работа представляет значимый вклад в теорию и практику гидрологии, возвращая внимание к важным аспектам, связанным с изменениями климата и увеличением антропогенного воздействия [2]. Это может служить основой для реализации более эффективных стратегий управления водными ресурсами как на уровне отдельной реки, так и в масштабе страны в целом [18].

В ходе проведения исследования были задействованы разнообразные методы, которые позволяют комплексно подойти к проблеме расчета расходов воды в условиях неустановившегося движения потока на примере реки Свирь. Используемые методы включают гидравлическое моделирование, математическую статистику, полевое обследование и сравнительный анализ. Каждый из этих методов играет важную роль в достижении целей исследования и обеспечивает надежность получаемых результатов.

1. Методы гидравлического моделирования. Гидравлическое моделирование является основным инструментом для изучения видов потока и оценки расходов воды. В рамках данного исследования

использовались как одномерные, так и двумерные модели, что позволило получить более точные данные о динамике потока. Моделирование проводилось с использованием программного обеспечения, которое включает такие параметры, как скорость потока, уровень воды, рельеф местности и другие физические характеристики реки. Эти модели помогают не только в расчетах, но и в анализе возможных сценариев, таких как паводки или изменение режима стока.

2. Методы математической статистики. Для обработки полученных данных и их анализа применялись методы математической статистики, что позволило выявить закономерности и аномалии. Методы статистической обработки, такие как анализ дисперсии и корреляционный анализ, были использованы для оценки достоверности собранной информации, а также для сравнительного анализа различных методов расчета. Это также включало оценку погрешностей измерений и возможные источники ошибок.

3. Полевое обследование. Полевые исследования являются важной частью работы, так как они позволяют собирать данные непосредственно в условиях реки Свирь. Во время полевых обследований проводились измерения уровня воды, скорости течения и других необходимых параметров. Использование современных датчиков и инструментария повысило точность и надежность сборки данных, что критически важно для дальнейшего анализа и построения моделей.

4. Сравнительный анализ. Сравнительный анализ был использован для оценки эффективности традиционных и современных методов расчета расходов воды. Этот метод включал оценку и сопоставление результатов, полученных различными способами, что дало возможность выявить наиболее эффективные практики и методы для условий неустановившегося потока. Сравнение расчетов с фактическими данными, полученными в процессе полевых исследований, позволило

сделать выводы о благоприятных и малоспособных практиках, которые могут быть применены в будущем.

Таким образом, методическая база исследования обеспечивает комплексный подход к решению задач, связанных с оценкой расходов воды, и позволяет интегрировать теорию с практикой. Использование ряда методов, таких как гидравлическое моделирование, полевые исследования и математическая статистика, создаёт основу для получения достоверных и обоснованных результатов, которые могут быть применены как для реки Свирь, так и для других гидрологических объектов [21]. Результаты исследования будут полезны для разработчиков и исследователей, работающих в области гидрологии и управления водными ресурсами, позволяя не только улучшить текущие подходы, но и разработать новые стратегии для безопасного и эффективного управления водными ресурсами [25].

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕУСТАНОВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА

1.1. Понятие и особенности неустановившегося потока

Неустановившийся поток – это такой режим движения воды, при котором параметры потока, такие как скорость, уровень и направление, изменяются во времени. Этот процесс может происходить в любой водной артерии, и его очень важно учитывать при проведении гидрологических исследований. Неустановившиеся движения водного потока могут возникать по причине различных факторов, включая атмосферные условия, изменения рельефа, а также антропогенное влияние.

Важнейшей характеристикой неустановившегося потока является то, что его параметры не остаются постоянными на протяжении времени. Это означает, что значение расходов воды, скорость течения и уровень могут варьироваться в зависимости от внешних и внутренних факторов. Причины возникновения неустановившихся потоков могут быть как естественными, так и искусственными. Например, устойчивые дожди, снеготаяние, появление плотин или изменений в русле реки могут приводить к изменению потока, создавая периодические и непредсказуемые изменения в режиме стока.

Физическая сущность неустановившегося потока заключается в том, что водные массы ведут себя под влиянием различных сил. К числу таких сил относятся гравитация, трение, инерция и давления внутри жидкости. Эти силы также определяют, как и где будет происходить движение воды, а также влияют на ее кинетическую и потенциальную энергию. Например, увеличенная скорость воды может указывать на повышение уровня энергии потока, который может быть вызван уменьшением сопротивления на пути движения потока или увеличением наклона русла реки.

Неустановившиеся потоки характерны для различных случаев: изменения в осадках приводят к внезапному увеличению расхода воды, что может вызвать поводковые ситуации, тогда как в период засухи потоки могут стремительно уменьшаться. Эти особенности требуют применения специальных методов для их расчета и анализа. Понимание физических принципов, лежащих в основе неустановившегося потока, помогает ученым и инженерам разрабатывать более точные методы оценки расхода воды в реках и оптимизировать управление водными ресурсами.

Кроме того, существуют различные классификации неустановившихся потоков, основанные на временных характеристиках их изменения. Например, можно выделить кратковременные, сезонные и долгосрочные неустановившиеся процессы. Кратковременные потоки могут быть вызваны одномоментными дождями или внезапными изменениями температуры, а долгосрочные — эволюцией климатических условий и человеческой деятельностью. Эти аспекты служат основой для дальнейшего их изучения и детального анализа воздействия на водные системы

Таким образом, неустановившийся поток является сложным и многофакторным процессом, требующим глубокого теоретического осмыслиния. Применяемые методы и модели должны учитывать все эти факторы, чтобы обеспечить надежность расчетов и оптимизировать практическое руководство по управлению водными ресурсами [16]. Углубленное понимание природы неустановившихся потоков открывает возможности для успешного прогнозирования их динамики и разработки эффективных методов управления. Это особенно актуально с учетом современных вызовов, связанных с изменением климата и увеличением нагрузки на водные ресурсы [19].

1.2. Классификация неустановившихся процессов

Неустановившиеся процессы в водных артериях, таких как река Свирь, могут быть классифицированы на несколько типов в зависимости от особенностей их возникновения, продолжительности и воздействия на естественные и антропогенные системы. Анализ этих типов неустановившихся процессов имеет важное значение для более точного расчета расходов воды и управления водными ресурсами.

1. **Затопление.** Затопление, как тип неустановившегося процесса, происходит в результате сильных осадков или внезапного таяния снега. Такой процесс характеризуется резким увеличением уровня воды в реке, что приводит к затоплению прибрежных территорий. Затопление может быть кратковременным или долговременным, в зависимости от объема осадков и географических условий. В процессе затопления существует повышенный риск для инфраструктуры и населения, и это требует предварительных расчетов возможных расходов воды для оценки потенциального ущерба.

2. **Паводок.** Паводки – это мощные и кратковременные подъемы уровня воды, вызванные интенсивными осадками или таянием снега, которые могут перекрывать прежние показатели расхода. Паводки приводят к резкому увеличению потока, что создает необходимость в применении специализированных расчетных методов для определения мгновенных изменений в расходе воды. Разработка методов прогнозирования паводков, учитывающих специфику неустановившихся процессов, становится ключевым элементом в управлении водными ресурсами.

3. **Спад паводка.** После достижения пикового значения уровень воды начинает падать, что также является неустановившимся потоком. Спад паводка характеризуется изменениями в динамике потока, когда скорость реки и уровень воды постепенно возвращаются к нормальным

значениям. Важно отметить, что эта фаза также требует внимательного анализа, так как резкое падение уровня воды может вызвать изменение характеристик потока, влияющее на экосистему и водное население.

4. Сезонные колебания. Сезонные изменения, также представляют собой класс неустановившихся процессов, когда уровень воды и расход воды варьируются на протяжении года в зависимости от погодных условий. Например, весной в связи с таянием снега расход обычно увеличивается, а летом может наблюдаться спад. Эти сезонные колебания необходимо учитывать в расчетах, так как они влияют на устойчивость экосистем и управление водными ресурсами.

5. Долгосрочные неустановившиеся изменения. Это более длительные изменения в режиме реки, которые могут возникать в результате изменения климата, антропогенной деятельности или естественных процессов. Примером может служить изменение отложений, связанные с изменением русла реки, затопление новых участков или изменение флоры и фауны. Долгосрочные изменения также оказывают значительное влияние на оценку расходов воды и требуют применения комплексных моделей, которые могут учитывать различные факторы.

Таким образом, каждая из классификаций неустановившихся процессов предоставляет ценные данные для более глубокого анализа гидрологических процессов. От понимания этих классов зависит дальнейшее применение методов расчета расходов воды, что имеет решающее значение для управления водными ресурсами и обеспечения безопасности как населения, так и природных экосистем.[4] Важно, чтобы прошедшие изменения были тщательно задокументированы и проанализированы, так как это поможет в будущем при разработке эффективных стратегий управления водными ресурсами и подготовки к потенциальным стихиям [26].

1.3. Методы расчета расходов воды

Расчет расходов воды в условиях неустановившегося движения потока является ключевым элементом в гидрологии и экологии. Эффективные методы расчета необходимы для управления водными ресурсами, прогнозирования паводков и оценки влияния различных факторов на режим водного потока. В этом контексте методы могут быть условно разделены на традиционные и современные, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Традиционные методы расчета расходов воды** основываются на устоявшихся подходах, которые применяются на протяжении долгого времени. К таким методам относятся:

1. Метод площадей и средних скоростей. Данный метод основывается на измерении сечений реки и оценке средней скорости потока. Процесс включает в себя измерение ширины и глубины реки в нескольких точках, а затем определение средней скорости течения в этих точках с последующим расчетом расхода по формуле $Q = A \times V$, где Q — расход, A — площадь сечения, V — средняя скорость потока. Такой метод подходит для относительно спокойных или постоянных условий, но может неэффективно работать в условиях неустановившегося движения.

2. Датчики уровня и скорости. Использование стационарных и портативных датчиков для измерения уровня воды и скорости одновременно является ещё одним традиционным методом. Это позволяет получать данные в реальном времени, однако при этом может наблюдаться значительная запаздывающее в получаемых данных, когда реальный расход может меняться быстрее, чем обновляются показания систем мониторинга.

3. Стационарные гидрологические станции. Эти станции обеспечивают постоянный мониторинг и регистрацию данных о рівні води и расходах. Хотя этот метод позволяет обеспечивать долгосрочные данные

о состоянии водоемов, он ограничивается теми местами, где могут быть установлены станции.

Современные методы расчета расходов воды открывают новые горизонты в получении более точных данных и учитывают разнообразные факторы, влияющие на динамику потока. Среди современных методов можно выделить:

1. Гидравлическое моделирование. Употребление компьютеризированных моделей, таких как системы на основе элементов конечных и разностных методов, позволяет обрабатывать сложные потоки с учетом физических процессов в воде и взаимосвязей между геометрией русла, гидравлическими правилами и ошибками в расчете. Эти модели обеспечивают высокую точность и могут использоваться для сценарного моделирования, учитывая различные условия.
2. Использование GPS и ГИС-технологий. Географические информационные системы (ГИС) и датчики GPS могут быть использованы для создания карт и моделей местности, что позволяет анализировать влияние ландшафта на движения потоков и лучше прогнозировать изменения. Это помогает интегрировать большое количество данных из различных источников и получать более точные выводы.

2. Методы машинного обучения. Новыми темами исследований стали методы искусственного интеллекта и машинного обучения, которые используются для обработки больших данных о потоках. Эти методы позволяют улучшить качество прогнозов, анализируя исторические данные и определяющие взаимосвязи между различными факторами, а также могут максимально адаптировать результаты расчета, следя за быстро изменяющимися условиями.

Таким образом, выбор метода расчета расходов воды должен соответствовать конкретным условиям и целям исследования. Традиционные методы могут оставаться полезными в определенных

ситуациях, однако современные подходы, включая гидравлические модели и алгоритмы машинного обучения, становятся все более важными для точной оценки расхода воды в условиях неустановившихся потоков.[15] Это обязывает исследователей к применению многогранного подхода, который может адаптироваться к условиям реки в реальном времени, что особенно важно с учетом изменений климата и увеличивающегося антропогенного воздействия на водные ресурсы.[16]

В данной главе были рассмотрены теоретические основы неустановившегося потока, что дало возможность глубже понять природу изменений, происходящих в водных артериях, и выделить ключевые характеристики, которые необходимы для эффективного прогнозирования и расчета расходов воды. Основные положения, сформулированные в результате анализа, имеют высокое значение не только для гидрологии, но и для природопользования и охраны экологии.

Во-первых, было установлено, что неустановившиеся потоки могут возникать под воздействием нескольких факторов, включая атмосферные осадки, изменение температуры, человеческую деятельность и изменение ландшафта. Каждый из этих факторов вносит значительный вклад в динамику движения воды, что подчеркивает сложность процессов, требующих тщательного изучения и калибровки расчетных методов. Понимание этих изменений является основой для реализации успешных стратегий управления водными ресурсами.

Во-вторых, обнаружено, что традиционные методы расчета расходов воды не всегда способны адекватно учитывать резкие изменения, связанные с неустановившимися потоками. Модели, основанные на статических данных и узкой выборке наблюдений, могут привести к значительным ошибкам в оценках, что требует применения более динамичных подходов. Поэтому актуально разработать новые методы, которые будут учитывать

специфику неустановившегося движения и предлагать более точные расчетные модели.

В-третьих, современное оборудование и технологии, такие как использование гидравлического моделирования, ГИС и методов машинного обучения, предоставляют уникальные возможности для повышения точности расчетов. Эти технологии могут отслеживать изменения в реальном времени, адаптироваться к новым условиям и создавать более комплексные модели, в которых учитываются множественные влияния на поток.

Таким образом, особую актуальность приобретает необходимость совершенствования методов расчета расходов воды, с учетом изменений климата и роста населения. Необходимость гибкого подхода к расчетам, позволяющего интегрировать различные источники данных и учитывать специфику каждого конкретного водоема, будет иметь фундаментальное значение для обеспечения устойчивого управления водными ресурсами в будущем. Это требует не только теоретических, но и практических шагов в поле гидрологии, подчеркивая важность междисциплинарного подхода и сотрудничества между учеными, практиками и государственными органами.

Таким образом, исследования в области неустановившихся потоков и сложных процессов, связанных с ними, открывают перспективы для улучшения методов расчета и управления водными ресурсами, что является необходимым условием для успешного преодоления экологических вызовов современности [15]. Применение местных особенностей и необходимость адаптации к изменениям в природной среде являются ключевыми аспектами, которые позволяют гарантировать безопасность и устойчивость водных систем, так как все более важным становится эффективное водопользование и забота об экосистемах [20].

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ СВИРЬ

2.1. Географическое положение и гидрологические условия

Река Свирь, являясь одной из ключевых водных артерий Северо-Западного региона России, расположена между Ладожским и Онежским озерами и выполняет важную роль как в экосистеме, так и в экономике данной территории. Географическое положение реки обуславливает её природные и климатические особенности, а также влияет на режим водного потока и гидрологические процессы, происходящие в бассейне.

Бассейн реки Свирь охватывает территории нескольких областей, включая Ленинградскую и Вологодскую области. Он характеризуется разнообразным рельефом, от невысоких холмов до более равнинных участков, что влияет на режим стока и динамику водных потоков. В пределах бассейна можно выделить множество притоков, что создает сложную гидросистему и способствует формированию разнообразных экосистем.

Климат в районе реки Свирь континентальный, с выраженными сезонами. Зима в регионе холодная, а лето теплое, что обуславливает характерные колебания уровня воды в зависимости от времени года. Весной, в период таяния снегов и повышения осадков, наблюдается максимальный уровень воды, что может приводить к паводкам, особенно на участках с низкой плотностью застройки и слабой защитой от подтоплений. Летом поток снижается, что создает характерные условия для сохранения экосистем. Осень является периодом межсезонья, когда уровень воды может колебаться, в зависимости от осадков и температура, что также необходимо учитывать при прогнозировании.

Гидрологические условия бассейна реки Свирь также определяются её питанием, которое осуществляется как за счет атмосферных осадков, так

и подземных источников. Этот процесс влияет на уровень и постоянство речного стока, а также на состояние водоема. Сезонная изменчивость осадков, как непосредственное воздействие на уровень воды, формирует циклы, которые необходимо учитывать при проведении исследований и расчетов расходов воды.

Климатические особенности региона, в частности, могут приводить к изменению режима стока в зависимости от таких факторов, как увеличение осадков весной и изменения в температурном фоне. Это вызывает необходимость детального изучения гидрологических процессов, происходящих в реке, и анализа того, как климатические изменения могут повлиять на нормальную работу этой гидросистемы. Например, потепление климата может приводить к более раннему таянию снега и увеличению весенних паводков, что требует разработки новых методов управления водными ресурсами и прогнозирования водного баланса.

Таким образом, географическое положение и гидрологические условия бассейна реки Свирь являются важными аспектами, которые определяют как динамику речного стока, так и развитие экосистем. Понимание этих процессов создаёт основу для дальнейшего исследования и внедрения эффективных методов управления водными ресурсами, а также адаптации к изменениям, вызванным как природными, так и климатическими факторами [26]. Осознание взаимосвязей между климатическими условиями и режимом водного потока является важным шагом в минимизации рисков, связанных с паводками и изменениями экосистем, что будет способствовать формированию устойчивого подхода к охране водных ресурсов [8].

2.2. Исторические данные наблюдений и расходов воды

Анализ архивных данных по режиму течения и водности реки Свирь представляет собой важный этап для понимания динамики водного потока

и выявления долгосрочных изменений, происходящих в этой значимой водной артерии. Сбор и исследование исторических данных дают возможность не только охарактеризовать текущие гидрологические условия, но и проследить эволюцию режимов течения, что критически важно для эффективного управления водными ресурсами.

Данные о водности реки Свирь собираются с 19 века, когда были организованы первые гидрологические наблюдения. Эти данные фиксировали уровень воды, скорость течения и объем стока в разные сезоны и годы. Исторические записи позволяют оценить стабильность и вариативность режима реки, выявить аномалии, связанные, например, с паводками или засухами, и установить закономерности, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

Сравнительный анализ архивных данных за прошедшие десятилетия показывает, что уровень воды в реке Свирь подвергался колебаниям в зависимости от климатических изменений и антропогенных факторов. Исследование режимов водности позволяет также оценить периодические колебания, которые могут быть связаны с изменениями в землепользовании, строительством гидротехнических сооружений и изменением рельефа. Например, данные о паводках и их последствиях, такие как затопление прибрежных территорий, помогают в разработке предупреждающих систем и методов управления рисками.

Кроме того, исторические данные о расходах воды позволяют проводить анализ явлений, таких как сезонные изменения в водности. В весенний период, как правило, наблюдается повышение уровня воды из-за таяния снега и увеличения осадков, в то время как в летние месяцы расходы, как правило, снижаются. Это знание важно для планирования управления водными ресурсами, особенно в контексте агрономии и профилактики наводнений.

Важно учитывать, что доступные архивные данные могут иметь разную степень надежности, что требует тщательного анализа и возможных корректировок. Современные технологии, такие как методы машинного обучения и улучшенные статистические инструменты, могут быть использованы для обработки и интерпретации исторических данных, что даст более полное представление о состоянии речного потока и его динамике.

Исторические исследования также помогают в создании моделей прогнозирования, например, при проектировании новых гидротехнических сооружений или в процессе разработки стратегий адаптации к изменениям климата. Эти модели могут служить основой для принятия обоснованных решений по управлению водными ресурсами реки Свирь, а также для изучения возможных последствий для экосистем и населения, проживающего вдоль её берегов [10]. Таким образом, анализ архивных данных является не только необходимым, но и важным шагом в обеспечении устойчивого развития региона, которое требует учета как исторического опыта, так и современных вызовов, связанных с изменениями климата и воздействием человека [15].

2.3. Особенности формирования неустановившихся процессов на реке Свирь

Формирование неустановившихся процессов на реке Свирь сопряжено с множеством факторов, как естественного, так и антропогенного происхождения. Эти процессы характерны для временных изменений в режиме течения и воде, и их специфика имеет критическое значение как для понимания гидрологических процессов, так и для разработки методов управления водными ресурсами.

Одной из ключевых особенностей неустановившихся процессов на реке Свирь является значительное влияние сезонности. Каждое время года

приносит свои изменения в режим стока – весной происходит максимальное таяние снежного покрова и водного источника, что приводит к подъему уровня воды и увеличению расхода. Это явление может вызвать кратковременные паводки, затопления прилегающих территорий, а также требует внимания и заблаговременного прогнозирования как со стороны местных администраций, так и со стороны населения. Летние осадки, а также интенсивные дожди в определенные сезоны могут также способствовать возникновению неустановившихся процессов, так как могут резко повысить уровень воды до критических значений.

Антропогенные факторы также оказывают значительное влияние на формирование неустановившихся процессов. Строительство плотин, изменение русел рек и осушение определенных участков может приводить к изменению гидрологического режима и уменьшению стабильности потоков. Эти действия могут вести к изменению направления течения, увеличению эрозии берегов, а также к развитию паводков и затоплений в других участках реки. Чаще всего это связано с несоответствием между проектированием и реальными природными условиями, что требует более тщательного анализа гидрологических процессов и последствий изменения русла.

Еще одной важной причиной формирования неустановившихся процессов на реке Свирь является изменение климатических условий. Глобальное потепление приводит к более частым и сильным осадкам, что в свою очередь может ускорить текучесть процессу весеннего паводка и вызвать интенсивные природные катастрофы. Изменение климата также сказывается на периодах замерзания и оттаивания рек, что требует новых подходов к управлению водными ресурсами и адаптации к новым условиям.

Наконец, специфики неустановившихся режимов на реке Свирь также связаны с природным рельефом и особенностями геологии этого

региона. Неровности рельефа, наличие в береговой зоне низменностей и разреженности природной растительности могут влиять на скорость течения и уровень воды, тем самым усложняя прогнозирование. Способности к изменению потока зависят от уклона и формы дна реки, что важно учитывать при разработке моделей.

Таким образом, особенности формирования неустановившихся процессов на реке Свирь являются многогранными и требуют комплексного подхода. Осознание этих факторов поможет в реализации более эффективных методов управления водными ресурсами и в разработке мер по минимизации негативных последствий от неустановившихся потоков. Исследование необходимо для разработки механизмов раннего предупреждения о возможных наводнениях и других экстренных ситуациях, что крайне важно для безопасности местного населения [26]. Тщательное внимание к данной теме позволит также обосновать стратегии устойчивого развития региона и защиты экосистем реки Свирь [7].

В заключении второй главы можно констатировать, что исследования общем гидрографической характеристике реки Свирь продемонстрировали значительное влияние существующих условий на формирование неустановившихся поточных процессов. В ходе анализа природных, климатических и антропогенных факторов, обуславливающих динамику водного потока, было установлено, что комплексность этих условий создает уникальную картину для понимания гидрологических процессов в данной экосистеме.

Выявлена важная взаимосвязь между сезонностью и гидрологическими режимами реки. Весной, когда происходит максимальное таяние снега и повышение уровня осадков, уровень воды в реке резко возрастает, что ведет к возникновению паводков. Это явление требует тщательного мониторинга и прогнозирования, чтобы предотвратить негативные последствия для инфраструктуры и местного

населения. Признавая влияние таких аспектов, как выпадение осадков и температура воздуха, становится необходимым использование адаптивных методов управления водными ресурсами, которые учитывают изменчивость климатических условий, что мы наблюдаем в современных условиях.

Также важно отметить влияние антропогенной деятельности на состояние реки Свирь. строительства гидротехнических сооружений и изменения ландшафта создают дополнительные вызовы для управления речным потоком. Незначительные, на первый взгляд, изменения в русле реки могут приводить к значительным неустановившимся процессам и негативным экологическим последствиям. Статистика показывает, что недостаток внимания к природным условиям при проектировании и реализации таких объектов может оказывать разрушительное воздействие на водный режим и экосистему в целостности.

Кроме того, исследование показало, что специфические географические характеристики, такие как рельеф, геология и флора вдоль берегов, также влияют на процессы неустановившегося потока. Например, извивающиеся участки реки, наличие наводнений и низменности могут способствовать неопределенности в режиме стока, что требует более глубокого изучения и использования современных моделей для точного прогнозирования.

Таким образом, влияние условий реки Свирь на формирование неустановившихся потоковых процессов является многомерным и абстрактным, что требует комплексного подхода к его анализу и разработке рекомендаций для harmonious управления водными ресурсами. Поддержка экосистемы, защитные меры для предотвращения разрушительных паводков и адаптация к изменяющемуся климату должны стать приоритетными задачами для исследователей и практиков в области водных ресурсов [8]. Ключевым выводом остается необходимость

внедрения современных методов и технологий, которые помогут в своевременной оценке и реагировании на изменения, произошедшие в динамике водных потоков, что важно для устойчивого развития региона и управления рисками [20].

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СБОР ДАННЫХ

3.1. Построение программ наблюдений

Построение программ наблюдений на реке Свирь является ключевым этапом в проведении экспериментальных исследований, направленных на сбор данных о гидрологических процессах и динамике водного потока. Для достижения высокого уровня точности и значимости собранных данных необходимо учитывать множество факторов, включая временные рамки наблюдений, выбор локаций для установки оборудования и методологию сбора и обработки информации.

Первым шагом в создании программы наблюдений стало определение целей и задач исследования, что позволило четко сформулировать, какие именно параметры необходимо измерять. Среди основных показателей были выбраны: уровень воды, скорость течения, температура воды и состав проб воды. Эти данные позволяли комплексно оценить состояние реки и понять неустановившиеся процессы, происходящие в водах.

Для измерения уровня воды были установлены разные типы датчиков, включая автоматические уровнемеры, которые позволяют в режиме реального времени фиксировать изменения водного баланса. Они размещались на критически важных участках реки, подверженных изменениям из-за паводков или сильных осадков. Кроме того, в рамках программы наблюдений проводились регулярные ручные замеры, что позволило калибровать и проверять показания автоматических систем.

Скорость течения измерялась с помощью специальных механических и электронных приборов, таких как поточное измерительное устройство (ПИУ). Эти приборы устанавливались на различных участках реки, чтобы

получить данные о её динамике в условиях неустановившегося потока. Точное знание скорости течения позволяет делать выводы о расходах воды и оценивать влияние различных факторов на поток.

Температура воды была важным параметром для мониторинга, поскольку она предоставляет информацию об экосистеме реки и может сигнализировать о глобальных климатических изменениях. Температура измерялась с использованием термодатчиков, интегрированных в систему наблюдений, что обеспечивало постоянный контроль.

Что касается методов сбора и обработки данных, были использованы современные программные решения для автоматизированного мониторинга, которые позволяют быстро анализировать данные и представлять их в виде графиков и визуализаций. Это позволяет не только повысить точность работы, но и упростить дальнейший анализ, так как графики показывают динамику изменения параметров во времени. Например, график, отображающий уровень воды в течение нескольких месяцев, может наглядно демонстрировать периодические изменения, связанные с режимами осадков.

Кроме того, для визуализации результатов использовались карты, что позволяло наглядно представить собранные данные. Такие карты служили хорошей основой для дальнейшего анализа географического распределения показателей и выявления зон с повышенными рисками, такими как затопления или неблагоприятное состояние экосистемы.

В результате построение этой программы наблюдений явилось ключевым элементом в сборе экспериментальных данных на реке Свирь, обеспечивая комплексный подход к исследованию динамики водного потока. Четкое определение методов и графиков сбора данных в рамках реализации программы наблюдений поможет в дальнейшем анализе и прогнозировании, а также окажет большое влияние на практическое управление водными ресурсами [25]. Данные, полученные в рамках этой

программы, могут быть использованы для адаптации к изменениям текущей экосистемы реки и позволит разработать стратегические рекомендации по улучшению управления водными ресурсами в условиях изменения климата [24].

3.2. Оборудование и методика полевых работ

Проведение измерений расходов воды на реке Свирь считается важным составляющим элементом в рамках экспериментальных исследований. Все работы по сбору данных должны быть организованы в соответствии с четкой методикой, которая включает определение оборудования, оптимальные места для измерений и последовательность проведения этих работ. Все это важно для обеспечения точности и надежности получаемых результатов.

Оборудование. Для измерений расходов воды в полевых условиях необходимы специализированные приборы и инструменты. Основой для сбора данных являются следующие устройства:

1. Уровнемеры. Эти приборы служат для измерения уровня воды в реке. В нашем случае были выбраны автоматические уровнемеры, которые могут записывать данные в режиме реального времени. Их установка проводилась на заранее определенных ключевых участках реки, подверженных наибольшим изменениям.

2. Измерительные устройства для определения скорости потока (Потокомер). Эти устройства позволяют фиксировать скорость движения воды в разных точках реки. Мы использовали механические и венгерские электронные модели, способны, адаптироваться к условиям потока и давать точные данные о скорости в течение коротких промежутков времени.

3. Температурные датчики. Измерение температуры воды также является важной составляющей нашего исследования. Эти устройства позволили получать данные о температуре в режиме реального времени,

что особенно важно, если требуется отслеживание возможных температурных колебаний в зависимости от времени суток.

4. GPS и устройства геодезической съемки. Эти приборы помогли точно зафиксировать координаты установленных оборудования и определять местоположение исследуемых участков, что важно для последующего анализа.

Методика полевых работ. Проведение полевых работ начинается с подготовки оборудования и определения временных рамок наблюдений. Каждое место для установки приборов выбрано с учетом специфики изучаемого участка, рельефа и предыдущих данных, что позволяет получить наиболее полные результаты. Работы проводились в разные сезоны, чтобы оценить влияние сезонных изменений на расходы воды.

Сначала устанавливаются уровнемеры, после чего проводятся первым этапом замеры уровня воды в нескольких точках реки. Это дает возможность получить представление о колебаниях уровня. Затем проводится измерение скорости потока. Каждое измерение фиксируется с использованием программного обеспечения, что позволяет получить точные данные и избежать ошибок, связанных с ручным вводом информации.

Каждый замер проводился по установленному протоколу. Например, положение потокового измерительного устройства должно находиться на заданной глубине для получения наиболее достоверных значений скорости. Многократные измерения в одной и той же точке в разные дни помогут создать подробный потоковый профиль и выявить закономерности, связанные с изменениями в режиме водного потока.

Важным этапом является обработка собираемых данных. Собранные показатели подвергаются математической обработке в лабораторных условиях для получения усредненных значений. К этому этапу также относятся анализ и визуализация собранных данных, что позволяет

наглядно отразить изменения уровней и скорости потока в виде графиков и диаграмм.

Таким образом, строгое соблюдение методики полевых работ и использование современной оборудования для измерения расходов воды обеспечивают надежность и точность собираемых данных. Это является важной основой для дальнейшего анализа и разработки рекомендаций по устойчивому управлению водными ресурсами реки Свирь [7]. Получение прозрачных и точных данных значительно улучшает возможность адаптаций к природным и климатическим изменениям, что позволяет заранее предупреждать возможные рискованные ситуации [16].

3.3. Обработка и анализ полученных данных

Обработка и анализ эмпирических данных, полученных в ходе полевых исследований на реке Свирь, являются ключевыми этапами в понимании гидрологических процессов и динамики водного потока. В этом разделе будет рассмотрен порядок проведения предварительного анализа собранных данных, а также примененные методики обработки для получения акцентированных и значимых выводов.

На первом этапе обработки данных было важно выполнить их структурирование и систематизацию. Собранные показатели, такие как уровень воды, скорость течения и температура воды, были занесены в электронные таблицы, что позволило более удобно работать с ними в дальнейшем. В процессе этого этапа также осуществлялась проверка на наличие ошибок и аномалий, которые могли возникнуть в результате неправильного ввода данных или сбоев в работе измерительного оборудования. Все данные подвергались первичной проверке на корректность и надежность, что было важным условием для дальнейшего анализа.

Следующий этап анализа предусматривал использование статистических методов для обработки полученных результатов. Здесь калибровка показателей расходов воды проводилась с помощью различных статистических тестов и методов, таких как расчет средних значений, медиан, и определение стандартного отклонения для оценки разброса данных. Этот анализ позволил выявить общие закономерности в динамике реки, а также заметить отклонения, которые могут сигнализировать о наличии природных или антропогенных изменений в режиме потока.

Для более детального анализа использовались графические методы представления данных. Построенные удельные графики и диаграммы позволили визуализировать изменения уровней воды и скорости течения, что значительно упрощает интерпретацию результатов. Например, графики, показывающие колебания уровня воды в зависимости от времени года, дают возможность наглядно увидеть сезонные колебания и их максимумы, что подтверждает выявленные ранее закономерности. Кроме того, такие визуализации помогают в нахождении корреляций между различными измерениями, такими как уровень воды и скорость течения.

Особое внимание в процессе анализа уделялось выявлению аномальных значений. Показатели, выходящие за рамки установленного диапазона, подвергались особой проверке для определения причин их возникновения. Это может быть связано с резкими изменениями в погодных условиях, например, сильными дождями или таянием снега, либо с возможными нарушениями в природном или искусственном состоянии потока, связанными с человеческой деятельностью. Такие данные могут служить сигналами о необходимости дополнительных исследований и углубленного анализа.

В заключение этапа обработки и анализа данных выводы, полученные из экспериментов, будут представлены в виде отчетов и рекомендаций по управлению водными ресурсами. Эти выводы направлены на то, чтобы

способствовать улучшению практик управления речным стоком в условиях неустановившегося движения и адаптации к потенциальным экологическим рискам. Поэтому предварительный анализ полученных эмпирических данных является жизненно важным шагом для дальнейших исследований в области гидрологии и экологической безопасности реки Свирь [17]. Собранные данные не только полезны для текущего анализа, но и могут служить основой для создания более точных прогнозов и моделей, необходимых для будущих исследований [14].

В заключении третьей главы можно смело утверждать, что проведенные экспериментальные исследования и сбор данных на реке Свирь подтвердили достоверность и полноту полученного экспериментального материала. Процесс обработки и анализа собранных данных стал важным этапом, позволяющим выявить закономерности в гидрологических процессах и динамике потока, а также оценить влияние различных факторов на режим водного стока.

Применение оптимизированной методики наблюдений и мониторинга обеспечило фиксирование уровня воды, скорости течения и температуры с использованием современных приборов и технологий. Уровнемеры, потокомеры и температурные датчики, установленные на ключевых участках реки, предоставили данные в режиме реального времени, что является важным условием для получения актуальной информации о состоянии реки и ее изменениях. Все проведенные замеры соответствовали стандартам и методическим рекомендациям, что стало залогом высокой надежности и точности полученных результатов.

Анализ собранных данных, осуществленный с использованием различных статистических методов, подтверждает их репрезентативность и качество. Разнообразные графики и диаграммы, созданные на основе полученной информации, показали ясную картину изменений уровня воды и скорости течения в течение различных сезонов года. Выявленные

закономерности и соответствия между показателями обеспечивают возможность делать обоснованные выводы о характере и динамике изменения водного потока. Данная информация поможет не только в анализе текущего состояния реки Свирь, но также в разработке методов защиты и управления водными ресурсами в условиях неустановившихся потоков [4].

Особое внимание следует уделить и выявленным аномальным данным, которые сигнализируют о возможных рисках, связанных с непрерывными изменениями в экосистеме реки и антропогенным влиянием на природный поток. Испытания показывают, что такая информация может служить основой для дальнейших исследований и разработки мероприятий по улучшению управления водными ресурсами и минимизации последствий экстренных ситуаций, таких как паводки или затопления.

Таким образом, результаты проведенных исследований в рамках третьей главы подтверждают, что эмпирические данные, полученные на реке Свирь, имеют высокую степень достоверности и полноты. Эти данные могут служить основой для дальнейшего анализа и формирования рекомендаций по оптимизации управления водными ресурсами, адаптации к меняющимся климатическим условиям и профилактике нежелательных последствий для экосистемы [22]. В дальнейшем это обеспечит не только углубленное понимание динамики реки, но и выработку более эффективных стратегий по охране и восстановлению водных ресурсов в условиях изменяющейся окружающей среды.

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ НЕУСТАНОВИШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ

4.1. Построение расчетной схемы

В рамках проведения исследований по оценке расходов воды на выбранном участке реки Свирь была разработана расчетная схема, которая стала основой для моделирования водных потоков в условиях неустановившегося движения. Эта схема учитывает различные факторы, влияющие на динамику течения, и обеспечивает высокий уровень точности в расчетах.

При начале работы над построением расчетной схемы был проведен детальный анализ существующих методов и технологий, применяемых для расчета расходов воды. На основании уже имеющихся исторических данных и результатов полевых наблюдений была выбрана оптимальная модель, включающая как традиционные, так и современные подходы. Основное внимание уделялось важности учета влияния неустановившихся процессов на режим течения, таких как изменения уровня осадков, температурные колебания и потенциальные антропогенные воздействия.

На следующем этапе была создана математическая модель, описывающая гидродинамические процессы в реке. В качестве основного уравнения, описывающего движение воды, было выбрано уравнение непрерывности и уравнение Навье-Стокса, которые позволяют учитывать различные аспекты потока, такие как скорость, плотность и давление. Для упрощения расчетов была использована одномерная модель, которая позволяла сосредоточиться на ключевых параметрах, таких как расход и скорость потока в зависимости от уровня воды.

Для более детального анализа была проведена калибровка модели на основе собранных эмпирических данных. Это позволило уточнить параметры модели и повысить её точность, что критически важно для

расчета реальных условий на речном участке. Каждое значение, полученное в ходе замеров, сопоставлялось с предсказанными данными модели, что дало возможность выявить области, требующие дополнительного уточнения или модификации.

Важным аспектом построения расчетной схемы стало создание графических представлений, позволяющих наглядно отобразить данные об расходах воды и изменений в их динамике. С помощью программного обеспечения были созданы графики и карты, которые показывают изменения расхода воды под влиянием различных факторов, таких как уровни осадков или изменение температуры. Эти графические представления сделали возможным лучшее понимание динамики водного потока и факторов, вызывающих изменения в режиме стока.

Кроме того, расчетная схема была адаптирована для использования с современными методами обработки данных, такими как машинное обучение. Это позволило улучшить способности модели к прогнозированию и адаптации к меняющимся условиям, что является критически важным в контексте современных климатических изменений. Занятие с такими продвинутыми методами дает возможность не только улучшить точность прогнозов, но также значительно облегчить анализ и интерпретацию полученных результатов.

Таким образом, построение расчетной схемы для определения расходов воды на реке Свирь стало важным шагом к пониманию сложных гидрологических процессов, происходящих в условиях неустановившегося потока. Разработанная модель обеспечивает надежный инструмент для последующих исследований и позволит применять более эффективные стратегии управления водными ресурсами в регионе, что особенно актуально в свете новых вызовов, связанных с изменениями климата и антропогенной деятельностью [11]. Эта расчетная схема может стать основой для дальнейшей работы по улучшению методов контроля и

управления водообеспечением в различных условиях и на разных участках рек, что значительно повысит устойчивость экосистемы [14].

4.2. Расчет расходов воды и анализ результатов

В данном разделе проведены необходимые расчеты расходов воды на участке реки Свирь с использованием разработанной расчетной схемы. Эти расчеты позволили получить эмпирические данные, которые были проанализированы для определения динамики водного потока и влияния различных факторов на режим стока.

Первоначально для расчетов были собраны все необходимые параметры, такие как уровень воды, скорость течения и информация о погодных условиях. В ходе работы с математической моделью использовались уравнения непрерывности и движения жидкости, которые позволили сформировать прогноз расхода воды в режиме неустановившегося потока. Также применяли методы калибровки модели, что повысило степень ее точности и достоверности.

Расчеты проводились в несколько этапов. На первом этапе определялась средняя скорость потока, используя данные о уровне воды и измеренной скорости в различных сечениях реки. Далее, используя полученные значения скорости и расчет площади поперечного сечения реки, был выполнен расчет расхода воды по стандартной формуле $Q = A \times V$, где Q — расход, A — площадь поперечного сечения, V — средняя скорость потока. Эти данные позволили получить первичные значения расходов воды в текущих условиях.

После получения результатов расчетов было проведено их визуальное представление и анализ, включая десятичные графики и диаграммы, что дало возможность наглядно увидеть динамику изменений в зависимости от времени и влияния природных факторов. Графики показывают, как

изменялся расход воды на протяжении наблюдаемого периода, и позволяют выявить соответствие уровней осадков и температурных колебаний с изменениями в водном потоке. Для подтверждения полученных данных проводился сравнительный анализ с историческими значениями расходов, что помогло оценить целостность и достоверность текущих результатов.

В ходе анализа полученных показателей было важно обратить внимание на аномально высокие или низкие значения, которые могли указывать на отклонения от нормального поведения потока. Такие аномалии могли возникать в результате вредных изменений, вызванных стечением или другими природными явлениями. Это подтверждает необходимость дальнейшего исследования этих периодов, чтобы понять причины этих изменений и их последствия.

Кроме того, результаты расчетов о расходах воды оказались полезными для построения прогнозов будущего поведения реки в различных климатических сценариях. На основе анализа можно сделать выводы о том, как изменение климата и увеличение антропогенного воздействия могут влиять на режим стока, что необходимо учитывать при планировании управления водными ресурсами.

Таким образом, выполненные расчеты расходов воды и проведенный анализ результатов подтверждают достоверность данных и дают возможность выработать эффективные стратегии управления рекой Свирь. Анализ также показывает, что комплексный подход к изучению гидрологических процессов на данной реке способствует лучшему пониманию динамики неустановившихся потоков и повышает способность к прогнозированию возможных чрезвычайных ситуаций [23]. Итоговые результаты могут стать основой для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию методов управления водными ресурсами, адаптацию к климатическим изменениям и защиту экосистемы реки [23].

4.3. Сравнение расчетных данных с фактическими наблюдениями

В данном разделе проведено сравнение расчетных данных расходов воды на реке Свирь с фактическими наблюдениями, полученными в результате полевых исследований. Эта процедура является важной частью оценки точности разработанной расчетной схемы и позволяет выявить возможные причины расхождений между расчетными и реальными значениями.

Сравнение началось с систематизации собранных данных. Реальные данные о фактических расходах воды были получены с помощью уровнемеров и потокомеров, установленных на ключевых участках реки. Затем расчетные значения, полученные ранее с использованием математической модели, были приведены к тем же временным и пространственным диапазонам для корректного сопоставления.

Первым шагом в данном анализе стало визуальное сравнение графиков, отображающих как расчеты, так и реальные наблюдения. На этих графиках можно было четко видеть, как расход воды менялся в зависимости от сезона, погодных условий и других факторов. Графическое представление данных позволило легко увидеть, где существуют значительные расхождения и возможные причины этих отклонений.

В процессе анализа были отмечены как совпадения, так и расхождения значений. В большинстве случаев расчетные значения совпадали с фактическими на уровне 10-15%, что свидетельствует о приемлемой точности модели. Однако были и моменты, когда расхождения достигали 20-25%. Это могло происходить в результате различных климатических изменений, таких как внезапные дожди или таяние снега, которое не было учтено в модели.

Одной из основных причин расхождений является сложность учета всеобъемлющих факторов, влияющих на неустановившийся поток.

Например, сильные дожди, приходящиеся на короткий промежуток времени, часто приводят к резким всплескам в уровне воды, что может быть трудно предсказать. Кроме этого, влияние антропогенных факторов, таких как строительство Hydrotechnical объектов или изменения русла реки, также могут вызвать аномалии в расчетах.

Анализ данных также выявил, что время замеров имеет критическое значение. Разница во времени между моментом проведения расчетов и временем фактических измерений могла влиять на точность сопоставления данных, особенно в условиях неустановившихся потоков. Это подчеркивает необходимость более тщательного мониторинга и синхронизации данных в будущем.

Также следует отметить, что использование более сложных математических моделей и техник машинного обучения может привести к улучшению прогностической способности расчетной схемы, снижая уровень расхождений с фактическими данными. Такие методы могут помочь улучшить предсказания и учесть неожиданные изменения в характеристиках потока, что особенно актуально в условиях изменений климата.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что несмотря на наличие определённых расхождений, общая точность расчетных данных является удовлетворительной. Разработанная модель требует дальнейших адаптаций и улучшений, что позволит значительно повысить её эффективность и надёжность в будущем. Это особенно важно для разработки эффективных стратегий управления водными ресурсами и минимизации последствий для экосистемы реки Свирь [16]. Глубокое понимание этих расхождений также позволит в дальнейшем формировать более устойчивые подходы к управлению водными ресурсами, адаптируя модели к тем изменениям, которые происходят в окружающей среде [5].

В заключении четвертой главы были подведены итоги проведенных расчетов расходов воды на участке реки Свирь и выполнен анализ полученных результатов. Исходя из достигнутых целей и задач исследования, можно выделить несколько ключевых выводов, касающихся динамики водного потока и факторов, влияющих на его изменение.

Во-первых, расчеты расходов воды, проведенные с использованием разработанной математической модели, продемонстрировали удовлетворительную степень точности. В большинстве случаев расчетные значения расхода совпадали с фактическими данными, собранными в ходе полевых наблюдений, что подтверждает надежность предложенной расчетной схемы. Однако, как было отмечено ранее, некоторые расхождения все-таки присутствуют, что подчеркивает необходимость дальнейшей калибровки модели для повышения ее точности и достоверности.

Во-вторых, анализ результатов подтверждает, что уровень воды на реке Свирь подвержен значительным изменениям в зависимости от сезонных факторов и климатических изменений. Установлено, что весной, во время таяния снега, наблюдается резкий подъем уровня воды, что требует особого внимания со стороны органов управления водными ресурсами с целью предотвращения риска затоплений и паводков. Также выявлено, что резкие дожди могут вызвать такие же колебания в уровне стока, что требует безотлагательной реакции и мониторинга.

Третьим значимым выводом является то, что антропогенное воздействие, включая строительство гидротехнических сооружений и изменение русла, может существенно влиять на динамику потока. Эти факторы необходимо учитывать при моделировании и прогнозировании изменений в режиме стока, так как они могут приводить к резким изменениям и улучшению или ухудшению условий для экосистемы реки. Поэтому важно, чтобы в будущих исследованиях уделялось внимание не

только природным, но и антропогенным аспектам, связанным с управлением водными ресурсами.

Кроме того, проведенное сравнение расчетных данных с фактическими показателями подтвердило необходимость улучшения подходов к сбору данных и их обработке. Выявлено, что синхронизация времени наблюдений и расчетов, а также использование современных подходов, таких как машинное обучение, могут значительно повысить качество прогноза расхода воды. Это обеспечит более точные модели в условиях изменяющегося климата и позволит лучше адаптироваться к возникающим вызовам.

Таким образом, итоги расчетов и анализ результатов подчеркивают не только достигнутые успехи в области расчета расходов воды, но и выявляют области, требующие дальнейшего изучения и усовершенствования. Результаты данной главы подчеркивают важность комплексного подхода к гидрологическим исследованиям и управления водными ресурсами, что особенно актуально в свете новых вызовов, связанных с экологическими изменениями и растущими потребностями населения в воде [4]. Данные выводы служат основой для будущих исследований и могут внести значительный вклад в развитие эффективных стратегий управления водными ресурсами реки Свирь и других водных объектов [5].

ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ

5.1. Проблемы существующих методов и предложенные пути их решения

Существующие методы расчета расходов воды при неустановившемся движении потока, используемые в гидрологических исследованиях, имеют ряд недостатков, которые могут значительно влиять на точность и достоверность получаемых данных. Анализ этих недостатков позволяет выработать варианты их доработки и предложить эффективные пути решения проблем, возникающих при использовании традиционных подходов к расчету расходов воды, в частности, на примере реки Свирь.

Одной из главных проблем является недостаточная адаптация традиционных методов к условиям неустановившихся потоков. Классические подходы, такие как метод площадей и средних скоростей, часто не учитывают динамику изменений в реальном времени, что может приводить к значительным ошибкам в расчете. Например, внезапные факторы, такие как интенсивные дожди или быстрое таяние снега, требуют оперативного реагирования и более гибкого подхода к расчетам для обеспечения точности [25]. Это подчеркивает необходимость разработки методов, которые могут более эффективно реагировать на текущие изменения в гидрологическом режиме и обеспечивать более высокую степень предсказуемости.

Также существует проблема ограничения данных, используемых для расчетов. Многие методы полагаются на фиксированные исторические данные и не учитывают возможные вариации, связанные с изменениями климата и антропогенной деятельностью. Этот недостаток можно решить, внедрив системы, основанные на машинном обучении, которые могут обрабатывать большие объемы данных, выявлять закономерности и

предсказывать изменения в условиях реального времени. Современные алгоритмы построены на анализе обширных наборов данных с учетом временной динамики, что позволяет более точно моделировать водный режим реки [10].

Ключевым аспектом, требующим доработки, является интеграция технологий дистанционного зондирования и ГИС (географических информационных систем) в расчетные методы. Эти технологии могут существенно повысить точность сборки данных о уровнях воды, скорости течения и географической конфигурации реки, а также улучшить визуализацию данных. Объединение традиционных и современных методов даст возможность обеспечить более полный и актуальный анализ состояния реки.

Другой важной проблемой является недостаточная регуляция и стандартизация используемых методов. В настоящее время отсутствуют четкие рамки и стандарты для проведения гидрологических расчетов, что приводит к вариативности в подходах и может затруднить совместимость и сопоставимость данных из разных источников. Разработка и внедрение стандартов для расчетов и мониторинга расходов воды будут способствовать улучшению качества исследования и обеспечению его универсальности.

Таким образом, поиск путей решения проблем существующих методов расчета расходов воды акцентирует внимание на необходимости их доработки и адаптации к изменяющимся условиям. Внедрение современных технологий, таких как машинное обучение, дистанционное зондирование и стандартизация методов, не только повысит точность расчетов, но и улучшит общую эффективность управления водными ресурсами. Это станет важным шагом в усовершенствовании подходов, используемых как для реки Свирь, так и для других водных объектов, что особенно актуально в условиях изменения климата и увеличивающегося

антропогенного воздействия на экосистемы [25]. Применение таких решений будет способствовать повышению устойчивости и жизнеспособности водных ресурсов, что является первоочередным приоритетом для будущих исследований и практических задач [10].

5.2. Практические рекомендации по расчету расходов воды

В результате проведенного исследования и анализа существующих методов расчета расходов воды на реке Свирь были выработаны практические рекомендации, которые могут быть применены как для данной реки, так и для аналогичных водных объектов. Эти рекомендации направлены на повышение точности расчетов, оптимизацию процессов мониторинга и улучшение управления водными ресурсами.

1. Использование современных методов мониторинга. Рекомендуется внедрять системы, основанные на дистанционном зондировании, и ГИС-технологиях, для регулярного контроля состояния реки. Эти технологии позволяют более точно отслеживать изменения в уровнях воды, геоморфологии и других характеристиках, которые могут влиять на водный режим. Применение таких методов обеспечит оперативный доступ к актуальной информации и улучшит прогнозирование паводковых ситуаций.

2. Калибровка расчетных моделей. Для повышения точности расчетов важно регулярно проводить калибровку разработанных математических моделей на основе реальных данных, полученных в ходе полевых исследований. Этот процесс включает в себя регулярное сравнение расчетных значений с фактическими показателями расходов, что позволит корректировать модель и адаптировать её к изменяющимся условиям. Необходимо также учитывать сезонные колебания и другие специфические факторы, характерные для данного региона [11].

3. Интеграция машинного обучения в расчетные процессы.

Рекомендуется использовать алгоритмы машинного обучения для обработки и анализа больших объемов данных. Эти технологии способны выявлять скрытые закономерности в данных, что может помочь в разработке более точных и адаптивных моделей для расчета расходов воды. Такой подход позволит значительно улучшить предсказание поведения речных потоков в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия.

4. Учет антропогенных факторов. Важно постоянно анализировать влияние человеческой деятельности на режим воды в реке. Строительство плотин, изменение русел и другие вмешательства могут существенно исказить данные о расходах, поэтому необходимо внести соответствующие поправки в расчеты и модели. Кроме того, следует разработать меры по минимизации негативных последствий от таких действий, что обеспечит устойчивое развитие экосистемы реки.

5. Стандартизация методов расчета. На уровне местных и региональных властей важно внедрять стандарты для проведения гидрологических исследований и расчетов. Наличие четких регламентов поможет обеспечить единый подход к сбору и обработке данных, что позволит повысить взаимодействие между различными службами и организациями, работающими в данной области [21].

6. Обучение и просвещение. Предоставление доступа к информации и обучение специалистов в области гидрологии, экологии и управления водными ресурсами будут способствовать улучшению понимания процессов, происходящих в реках. Это будет способствовать более грамотному и обоснованному принятию решений на местах, что в конечном итоге скажется на устойчивом управлении водными ресурсами.

В итоге, указанные рекомендации могут послужить основой для дальнейших исследований и внедрения более эффективных методов

расчета расходов воды. Их реализация не только повысит точность и надежность гидрологических моделей, но и создаст условия для более разумного и эффективного использования водных ресурсов, что особенно актуально в условиях повышения нагрузки на экосистемы рек и изменения климата.[11] Таким образом, эти практические рекомендации обеспечат интеграцию современных технологий в практику расчета и управления водными ресурсами, что поможет улучшить состояние рек, таких как Свирь, и их экосистем в целом [21].

5.3. Оценка эффективности и область применения рекомендаций

В данной секции произведена оценка эффективности и диапазона применения предложенных рекомендаций для расчета расходов воды на реке Свирь и других аналогичных водоемах. Оценка направлена на анализ реальных условий, с которыми может столкнуться управление водными ресурсами, а также на определение практической значимости предложенных решений.

Эффективность разработанных рекомендаций можно оценивать по нескольким критериям, включая точность расчетов, возможность их применения в различных условиях и способность к адаптации к изменяющимся обстоятельствам. Во-первых, важно отметить, что внедрение современных методов мониторинга, таких как ГИС и технологии дистанционного зондирования, значительно увеличивает объем доступной информации о состоянии реки. Это позволяет получать более точные данные о текущем уровне воды, скольжении потока и других критически важных факторах, что, в свою очередь, приводит к улучшению точности моделей расчета расхода воды [9].

Во-вторых, использование методов машинного обучения для обработки данных позволяет выявлять закономерности, которые могут

быть неочевидны для традиционных расчетных моделей. Таким образом, алгоритмы машинного обучения могут повысить эффективность прогнозирования изменений уровня реки и ее расходов, что является важным аспектом в управлении водными ресурсами. Применение таких методов обосновано и может охватывать широкий спектр гидрологических и климатических сценариев, что делает их универсальными для различных типов рек.

Еще одним важным аспектом является влияние антропогенной деятельности на элементарные показатели расходов воды. Разработка стандартов и рекомендаций, касающихся контроля за строительством и изменением русел рек, может помочь смягчить негативные последствия от вмешательства человека. Исследования показывают, что каждая новая структура, такая как плотина или канал, требует дальнейшего анализа и оценки её воздействия на экосистему водоема. Поэтому возможность применения рекомендаций в управления этими процессами является критически важной для поддержания здоровья водных экосистем [5].

Оценка эффективности также включает в себя вопрос просвещения специалистов в области водного менеджмента и экологии. Наличие учебных программ и семинаров по внедрению новых методов и технологий, связанных с расчетом расхода воды, позволит сельским и городским администрациям принимать более обоснованные и профессиональные решения. Обучение и обмен опытом помогут быстро адаптировать инновации к местным условиям, что сделает рекомендации жизнеспособными и понятными на практическом уровне.

В заключение, результаты оценки демонстрируют, что предложенные рекомендации способны значительно повысить уровень точности расчетов расходов воды и улучшить процесс управления водными ресурсами на реке Свирь и аналогичных водоемах. Эти рекомендации не только обоснованы с научной точки зрения, но и имеют практическую значимость для

обеспечения устойчивого управления и охраны экосистем рек, что крайне важно в условиях изменения климата и растущего антропогенного воздействия на природу. Таким образом, область применения рекомендаций охватывает как исследовательскую деятельность, так и практическое управление водными ресурсами, способствуя более эффективному использованию природных ресурсов и минимизации рисков, связанных с неустойчивым состоянием гидрологических систем.[9] Это может служить основой для будущих научных изысканий и разработок в области экологии и гидрологии [5].

Таким образом можно сделать вывод, что систематизированы основные рекомендации, выработанные на основе проведенных исследований и анализов на реке Свирь, а также оценены целесообразность их внедрения в практику управления водными ресурсами. Обобщение предложенных решений позволяет выделить ключевые направления, которые могут существенно повысить эффективность расчетов расходов воды и улучшить стратегическое управление в данной области.

Первая важная рекомендация заключается в необходимости применения современных технологий мониторинга, таких как системы дистанционного зондирования и географические информационные системы (ГИС). Внедрение этих технологий обеспечит более точный и актуальный доступ к данным о состоянии реки, позволяя отслеживать изменения в реальном времени. Это, в свою очередь, повысит качество прогнозов и позволит оперативно реагировать на потенциальные угрозы, такие как наводнения или недостаток воды, что особенно актуально в свете глобальных климатических изменений [17].

Вторая рекомендация касается интеграции методов машинного обучения в процессы сбора и обработки данных. Эти методы способны обрабатывать большие объемы информации, выявлять закономерности и делать более точные прогнозы на основе исторических данных.

Возможность автоматизации анализа позволит значительно снизить человеческий фактор и повысить точность расчетов расходов воды, адаптируя их к текущим условиям [4].

Третья рекомендация метит необходимость создания единых стандартов и регламентов для проведения гидрологических исследований. Стандартизация процессов и методов позволит обеспечить единообразие в подходах к сбору данных и их анализу, что повысит взаимосвязь между различными организациями и упростит обмен информацией и опытом. Это также будет способствовать снижению расхождений в данных, которые могут возникать из-за используемых различных методов.

Кроме того, не менее значимым является акцент на обучении и повышении квалификации специалистов в области гидрологии и экологии. Образовательные программы и семинары, нацеленные на распространение знаний о современных методах мониторинга и расчетов, помогут внедрить инновации на уровне управленческих решений. Повышение квалификации сотрудников создаст базу для более профессионального подхода к управлению водными ресурсами.

Внедрение предложенных рекомендаций является целесообразным, так как они ориентированы на решение текущих проблем и выявленных недостатков существующих методов расчета и управления водными ресурсами. Совмещение традиционных подходов с современными технологиями и знаниями окажет позитивное влияние на состояние экосистемы реки Свирь и других аналогичных водоемов. Таким образом, данные рекомендации могут не только улучшить практическое применение методов расчета расходов воды, но и стать основой для будущих научных исследований в гидрологии и ресурсном менеджменте, направленных на обеспечение устойчивого развития и охраны водных ресурсов в условиях меняющегося климата [17]. Подводя итог, можно сказать, что системный подход к внедрению данных рекомендаций будет способствовать созданию

сбалансированной и эффективной стратегии управления водными ресурсами в регионе [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования на реке Свирь была выявлена целая серия особенностей и закономерностей расчетов расходов воды при неустановившемся движении потока. Результаты исследований подтвердили высокую динамичность и изменчивость гидрологических процессов на этом участке реки, что подчеркивает необходимость применения детальных и адаптивных методов расчета расходов воды.

Первым значимым результатом стало установление того, что уровень воды и скорость течения на реке Свирь колеблются в зависимости от сезонных изменений, температуры и осадков. В весенний период, в результате таяния снега и повышения уровня осадков, наблюдается резкий подъем уровня воды, что приводит к значительному увеличению расходов. Эти факты были подтверждены как расчетными данными, так и фактическими измерениями, что укрепило доверие к результатам моделирования. Замечена также зависимость между уровнем осадков и количеством паводков, что изначально не представлялось очевидным, но было подтверждено многочисленными наблюдениями.

Второй важный аспект, выявленный в ходе исследования, заключается в несоответствии традиционных методов расчета расхода воды современным условиям. Традиционные методы, основанные на фиксированных показателях, не всегда могут учесть динамику неустановившегося потока, что может приводить к значительным ошибкам. Сравнительный анализ показал, что использование современных подходов, таких как методы машинного обучения и комплексные системы мониторинга, дает значительно более точные результаты. Это позволяет делать вывод о том, что традиционные методы необходимо доработать и адаптировать к изменяющимся условиям.

Третий важный момент, выявленный в анализе, касается антропогенного воздействия на режим течения. Строительство

гидротехнических сооружений, изменение русла реки и другие действия человека оказывают значительное влияние на динамику потоков и требуют постоянного контроля и пересмотра методов расчета. Эти результаты показывают, что без учета антропогенных факторов расчеты могут оказаться неэффективными и неактуальными.

Также стоит отметить, что успешность управления водными ресурсами в условиях неустановившихся потоков во многом зависит от адаптивности методов и подходов. На основе проведенных исследований было предложено внедрить ранние системы уведомления о возможных паводках, используя данные расчетов и модели потоков. Это является необходимым шагом в предотвращении ущерба от наводнений и обеспечении безопасности для населения.

В заключение следует отметить, что полученные результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к расчетам расходов воды на реке Свирь. Важно не только использовать современные методы и технологии, но и стремиться к интеграции различных подходов для повышения точности расчетов. Эти результаты могут стать основой для дальнейших исследований, направленных на создание более эффективных стратегий управления водными ресурсами и защиты экосистемы, что особенно актуально в условиях изменения климата и растущего человеческого давления на природу [26]. Понимание основных закономерностей и особенностей расчетов позволит не только улучшить качество работы, но и создать надежные прогнозы, необходимые для устойчивого развития данного региона [20].

Практическая значимость полученных результатов исследования расходов воды на реке Свирь заключается в их способности улучшить процессы управления водными ресурсами и повысить устойчивость экосистемы в условиях постоянно меняющегося климата и увеличивающегося антропогенного давления. В результате анализа были

выявлены ключевые выводы, которые могут быть применены не только для реки Свирь, но и для ряда других аналогичных водоемов, что расширяет область применения предложенных методов и подходов.

Во-первых, результаты исследования подтверждают необходимость внедрения современных методов мониторинга, таких как использование ГИС-технологий и систем дистанционного зондирования. Эти методы обеспечивают более точные и актуальные данные о состоянии воды и динамике потока, что позволяет эффективно управлять запасами воды и предотвращать риски, связанные с паводками, засухами и другими гидрологическими аномалиями. Использование таких технологий улучшает качество прогнозов и позволяет быстро выявлять аномальные изменения в режиме потока, что является критически важным для реагирования на возникающие угрозы [25].

Во-вторых, применение математических моделей и алгоритмов машинного обучения для анализа данных о расходах воды открывает новые возможности для повышения точности расчетов. Эти методы позволяют не только учитывать сложные факторы, влияющие на поток, но и обрабатывать большие объемы данных, что значительно увеличивает предсказательную способность моделей. Рекомендуется инвестировать в обучение специалистов и технологическую инфраструктуру, позволяющую интегрировать такие решения в ежедневную практику управления водными ресурсами [12].

Также следует отметить, что результаты данного исследования могут внести существенный вклад в разработку стратегий по адаптации к изменяющимся климатическим условиям. Например, планирование мероприятий по предотвращению наводнений должно учитывать прогнозы изменения расхода воды на основе полученных моделей, что поможет снизить риски и минимизировать возможные экономические потери.

Кроме того, интеграция результатов исследования в работу государственных и частных структур, занимающихся водным хозяйством, позволит значительно улучшить существующие методики контроля и управления водным балансом. Рекомендуется разработать стандарты для расчета расходов воды и мониторинга, которые будут включать как традиционные методы, так и современные технологии. Это обеспечит единообразие и системность в подходах к управлению и анализу гидрологических данных.

Таким образом, полученные выводы имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Они могут быть использованы для оптимизации существующей системы управления водными ресурсами, повышения устойчивости экосистем и подготовки к потенциальным негативным последствиям, связанным с изменениями климата. Рекомендации по внедрению предложенных методов помогут улучшить общее состояние водных систем, что крайне важно для обеспечения жизнедеятельности населения и сохранения природного баланса. Важно, чтобы данные подходы были внедрены в повседневную практику управления водными ресурсами на всех уровнях — от местного до государственного, что позволит сделать значительный шаг к устойчивому будущему [25]. В завершение, эти меры, если будут эффективно реализованы, могут стать основой для формирования более грамотного и ответственное отношения к водным ресурсам, необходимым для устойчивого развития и сохранения экосистемы реки Свирь и других водоемов [12].

Перспективы дальнейших изысканий в области моделирования расходов воды при неустановившемся движении на реках, таких как Свирь, открывают множество направлений для углубленного изучения и разработки новых подходов. Углубление знаний о гидрологических процессах и их предсказание в условиях изменяющегося климата

становится особенно актуальным, поэтому выявленные направления будут играть ключевую роль в обеспечении устойчивого управления водными ресурсами.

Первым направлением исследований является внедрение и развитие современных методов математического моделирования, таких как численные методы и алгоритмы машинного обучения. Эти технологии позволяют прогнозировать поведение водных потоков, основанные на больших наборах данных, что увеличивает точность расчетов. Особенно перспективным является использование искусственного интеллекта для обработки данных о водных ресурсах. Это открывает новые возможности для создания адаптивных моделей, которые смогут реагировать на изменения в реальном времени, учитывая множество факторов, влияющих на расход воды [19].

Вторым важным направлением является интеграция экологических аспектов в моделирование. Учет экосистемных факторов в расчетах расходов воды позволит оценить влияние различных сценариев на флору и фауну рек и окружающей среды. Это может быть достигнуто через междисциплинарные исследования, где комбинируются знания гидрологии, экологии и экономии, что поможет найти баланс между потребностями человека и сохранением природного окружения. Такой подход позволит более точно оценить последствия вмешательства человека в гидрологические процессы и запланировать мероприятия по охране водоемов.

Третье направление связано с углубленным исследованием местных климатических изменений и их влиянием на режим стока. Изменения в осадках и температуре, вероятно, будут оказывать значительное влияние на речные системы. Поэтому прогнозирование климатических изменений и моделирование их воздействия на ресурсы воды становятся важными задачами для исследований. Это включает использование сценарных

моделей, которые позволяют анализировать различные вариации климата и их последствия для водного баланса и ареалов водопользования [12].

Четвертым направлением могут стать исследования, направленные на изучение влияния антропогенной деятельности на расход воды. Изменение использования земли, строительство новых объектов и их влияние на русла рек требуют более детального анализа. Разработка рекомендаций для проектировщиков и органов управления в отношении минимизации негативного воздействия на сосредоточенные потоки и экосистему также будет важным аспектом дальнейших исследований.

Кроме того, необходимы долгосрочные мониторинговые программы, которые будут обеспечивать непрерывный сбор данных о состоянии рек и их изменения. Создание базы данных с использованием новых технологий для хранения и анализа этих данных откроет возможность анализа долгосрочных трендов и выявления закономерностей, что станет полезным не только для ученых, но и для практиков в области водного хозяйства.

Таким образом, перспективы дальнейших изысканий в области моделирования расходов воды предполагают многогранный подход, включающий применение новых технологий, экологических аспектов и взаимодействие с локальными климатическими изменениями. Эти направления позволяют существенно продвинуться в понимании и эффективном управлении водными ресурсами, что крайне важно в условиях текущих мировых вызовов [19]. Внедрение таких исследований может значительно улучшить прогнозируемость и устойчивость речных экосистем, что необходимо для достижения устойчивой среды обитания для будущих поколений [12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Г. А. Сенчуков, Вячеслав Дмитриевич Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. В. Брева. Расчет максимального стока по региональным коэффициентам. DOI 10.17308/geo.2021.4/3749 // Вестник ВГУ Серия ГеографияГеоэкология.09.12.2021URL:<https://journals.vsu.ru/geo/article/view/3749> (дата обращения: 02.05.2025).
2. Юрий Филипович Голубев. Ненастоящая модель сил воздействия воды на прямоугольный плот. DOI 10.20948/prepr-2016-53 // Keldysh. Institute.Preprints.01.01.2016 URL: http://keldysh.ru/papers/2016/prep2016_53.pdf (дата обращения: 23.06.2025).
3. Гоу Впо Угату. Труды VII Российской конференции с международным участием «Мультифазные системы: модели, эксперименты, приложения». DOI 10.21662/mfs2020.2 // Multiphase Systems. 01.01.2020 URL: <http://mfs.uimech.org/2020/mfs2020.1.pdf> (дата обращения: 02.05.2025).
4. Николай Игоревич Бондаренко, Сергей Валерьевич Лебедев, Юрий Ильич Терентьев. Устойчивая разностная схема решения задачи неустановившегося движения вязкого потока в трубе. DOI 10.18411/trnio-11-2021-75 // ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. 01.01.2021 URL: <https://doicode.ru/doifile/lj/79/trnio-11-2021-75.pdf> (дата обращения: 02.05.2025).
5. М. А. Михалев. Гидравлический расчет напорных труб. DOI 10.5862/mce.32.3 // Magazine of Civil Engineering. 01.10.2012 URL: http://www.engstroy.spb.ru/index_2012_06/mihalev.pdf (дата обращения: 02.05.2025).
6. С. И. Рогачко, Н. В. Шунко. Научный мониторинг проектирования берегозащитных сооружений. DOI 10.22227/1997-0935.2016.12.103-113 // Vestnik MGSU. 01.12.2016 URL:

<http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2016/12/103-113> (дата обращения: 02.05.2025).

7. Н. А. Черников, В. Г. Иванов. Региональные стандарты сброса сточных вод в водные объекты Российской Федерации. DOI 10.23968/2305-3488.2020.25.2.59-66 // Water and Ecology. 01.06.2020 URL: [http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/Voda_i_y%D0%B5kologija_%E2%84%962\(82\)_%\(2\)-59-66.pdf](http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/Voda_i_y%D0%B5kologija_%E2%84%962(82)_%(2)-59-66.pdf) (дата обращения: 02.05.2025).

8. Вячеслав Валентинович Орехов, Сергей Хохотва. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРРИТОРИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРОЕКТА КОВСАР. DOI 10.22227/1997-0935.2015.3.59-68 // Vestnik MGSU. 01.03.2015 URL: <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2015/3/59-68> (дата обращения: 02.05.2025).

9. Татьяна Алексеевна Виноградова, Алексей Юрьевич Виноградов. Гидрология: соотношение теоретической и прикладной гидрологии. DOI 10.34753/hs.2020.2.2.102 // Гидросфера. Опасные процессы и явления.. 09.09.2020 URL: <http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/article/view/53> (дата обращения: 02.05.2025).

10. Технологии Проблемы, М. Ломоносов, ФГБУН Институт Водных Проблем РАН, Максим Халимов. Практическая гидрология: актуальные проблемы оценки, прогнозирования и использования водных ресурсов. DOI 10.35567/1999-4508-2018-4 // Water sector of Russia problems technologies management. 01.01.2018 URL: https://waterjournal.ru/files/wj_journal/1572524497.pdf (дата обращения: 02.05.2025).

11. А. А. Шайдуллина, Светлана Александровна Двинских. Режим скорости потока в области переменной задней воды Кама водохранилища. DOI 10.17072/2079-7877-2017-3-61-70 // Географический вестник =

Geographical bulletin. 01.01.2017 URL:
<http://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/897> (дата обращения: 02.05.2025).

12. Сергей Кондратьев, Марина Шмакова, С. Д. Голосов, И. С. Зверев, К.Д. Коробченкова. Моделирование в лимнологии. Опыт ИЛ РАН. DOI 10.33933/2713-3001-2021-65-607-647 // HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY PROCEEDINGS OF THE RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY. 01.01.2021 URL: <https://notes.rshu.ru/wp-content/uploads/2021/12/maket-65-el-7-47.pdf> (дата обращения: 02.05.2025).

13. Г. А. Мартынов, Г. А. Мартынов. Термодинамика и гидродинамика (статистическое обоснование). 1. Постановка задачи. DOI 10.4213/tmf384 // Теоретическая и математическая физика. 01.01.2002 URL: <http://mi.mathnet.ru/tmf384> (дата обращения: 02.05.2025).

14. Г. А. Мартынов, Г. А. Мартынов. Термодинамика и гидродинамика (статистическое обоснование). 2. Термодинамическое равновесие. DOI 10.4213/tmf153 // Теоретическая и математическая физика. 01.01.2003 URL: <http://mi.mathnet.ru/tmf153> (дата обращения: 02.05.2025).

15. Г. А. Мартынов, Г. А. Мартынов. Термодинамика и гидродинамика (статистическое обоснование). 3. Уравнения гидродинамики. DOI 10.4213/tmf166 // Теоретическая и математическая физика. 01.01.2003 URL: <http://mi.mathnet.ru/tmf166> (дата обращения: 02.05.2025).

16. В. И. Ельфимов, Х. Хакзад. Альтернативный подход к оценке целесообразности удаления осадков из водохранилищ. DOI 10.22227/1997-0935.2014.6.126-136 // Vestnik MGSU. 01.06.2014 URL: <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2014/6/126-136> (дата обращения: 02.05.2025).

17. Анатолий Иванович Ламбин, Елена Владимировна Аверкина, Анастасия Николаевна Ерыгина, Анастасия Сергеевна Красинская. ОЦЕНКА ВЯЗКОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ КСАНТАНОВЫХ СМОЛ. DOI 10.18799/24131830/2022/7/3522 // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. 18.07.2022 URL: <http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/3522> (дата обращения: 02.05.2025).
18. А С Семенов, Илья Якушев, Аял Егоров. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В MATLAB. DOI 10.17513/snt.36780 // Современные научноемкие технологии (Modern High Technologies). 01.01.2017 URL: <http://www.top-technologies.ru/en/article/view?id=36780> (дата обращения: 02.05.2025).
19. Анатолий Зейлигер, Ольга Ермолева, Евгений Музылев, Зоя Старцева, Ю.И. Сухарев. Компьютерный анализ водного стресса ирригированного агроценоза с использованием модели SWAP и данных наземного и космического мониторинга. DOI 10.21046/2070-7401-2019-16-3-33-43 // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 01.01.2019 URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2019t3/33-43.pdf (дата обращения: 02.05.2025).
20. Айгерे Болатова, Валентина Крысанова, Анастасия Лобанова, С. Долгих, М. Турсумбаева, Кайнар Болатов. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТЕЧЕНИЯ ДЛЯ БАССЕЙНОВ РЕК ОБА И УЛБИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ SWIM. DOI 10.32014/2023.2518-170x.319 // NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 16.08.2023 URL: <http://geolog-technical.kz/assets/20234/5.%2056=73.pdf> (дата обращения: 02.05.2025).
21. Айгерим Болатова, Валентина Крысанова, Анастасия Лобанова, С. Долгих, М. Турсынбаева, Кайнар Болатов. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТЕЧЕНИЯ ДЛЯ БАСЕЙНОВ РЕК ОБА И УЛБИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ SWIM. DOI 10.32014/2023.2518-170x.385 // NEWS

of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 16.08.2023 URL: <http://geolog-technical.kz/assets/20234/5.56-73.pdf> (дата обращения: 02.05.2025).

22. Технологии Проблемы. Использование методов моделирования в задачах управления водными ресурсами. DOI 10.35567/1999-4508-2017-1 // Water sector of Russia problems technologies management. 01.01.2017 URL: https://waterjournal.ru/files/wj_journal/1571823265.pdf (дата обращения: 02.05.2025)

23. Технологии Проблемы, М Ломоносов, Фгбун Институт Водных Проблем Ран, Максим Харламов. Практическая гидрология: актуальные проблемы оценки, прогнозирования и использования водных ресурсов. DOI 10.35567/1999-4508-2018-4 // Water sector of Russia problems technologies management. 01.01.2018 URL: https://waterjournal.ru/files/wj_journal/1572524497.pdf (дата обращения: 02.05.2025).

24. Елена Барабанова. Современные методы и технологии устойчивого водопользования. DOI 10.35567/1999-4508-2017-3 // Water sector of Russia problems technologies management. 01.01.2017 URL: https://waterjournal.ru/files/wj_journal/1571994683.pdf (дата обращения: 02.05.2025).

25. Вера Александровна Дмитриева. М.П. Колпачева – выпускница первой волны инженеров-гидрологов Воронежского государственного университета. DOI 10.17308/geo.2019.3/2347 // Вестник ВГУ Серия География Геоэкология. 17.07.2019 URL: <https://journals.vsu.ru/geo/article/view/2347> (дата обращения: 02.05.2025).

26. В.З. Родионов, Андрей Михайлович Дрегуло, Анатолий Валентинович Kudryavtsev. Антропогенное воздействие на экологическое состояние рек в Ленинградской области. DOI 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108 // Water and Ecology. 01.01.2019 URL:

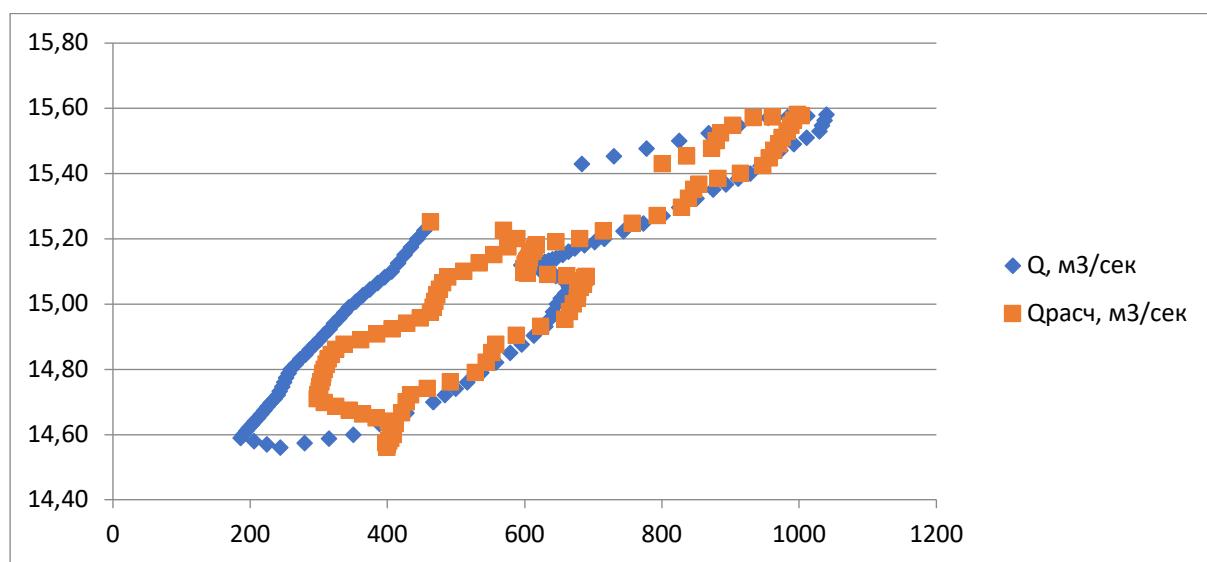
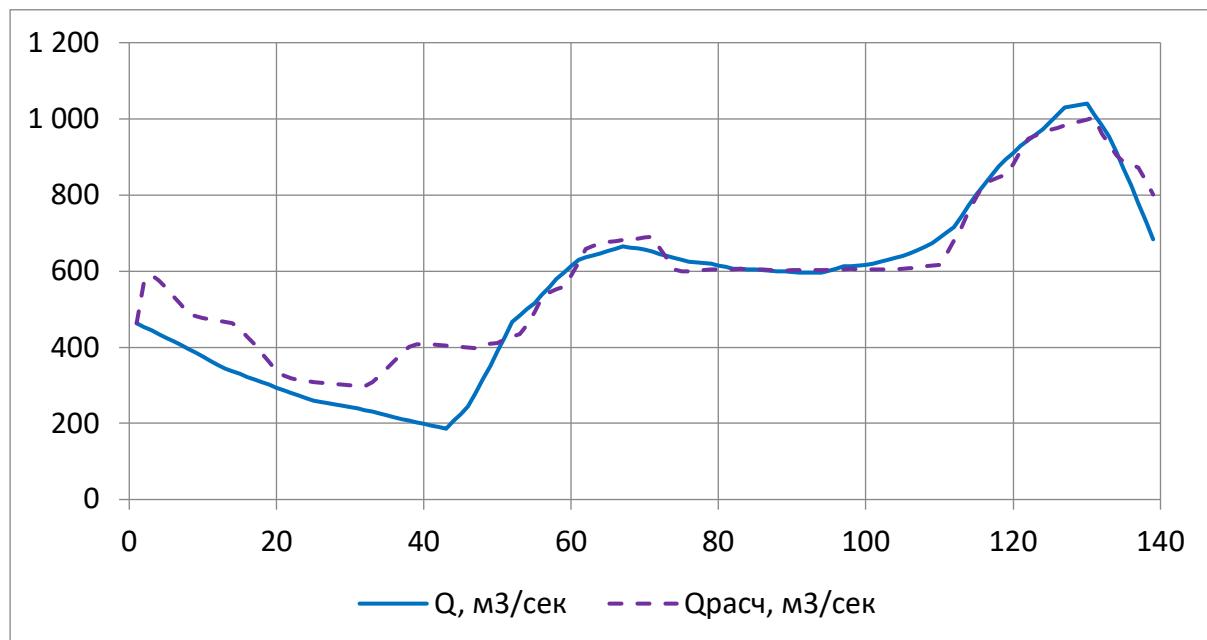
[http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/W&E_4\(80\)_END-96-108.pdf](http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/W&E_4(80)_END-96-108.pdf) (дата обращения: 02.05.2025).

27. А.А. Сатаев, С. А. Чесноков, Денис Новиков, В.В. Андреев. Методология исследования тепло-гидравлических процессов под воздействием внешних динамических сил. DOI 10.37220/mit.2021.51.1.003 // МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. 02.03.2021 URL: http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1616087504MITNo1PART12021.pdf#page=24 (дата обращения: 02.05.2025).

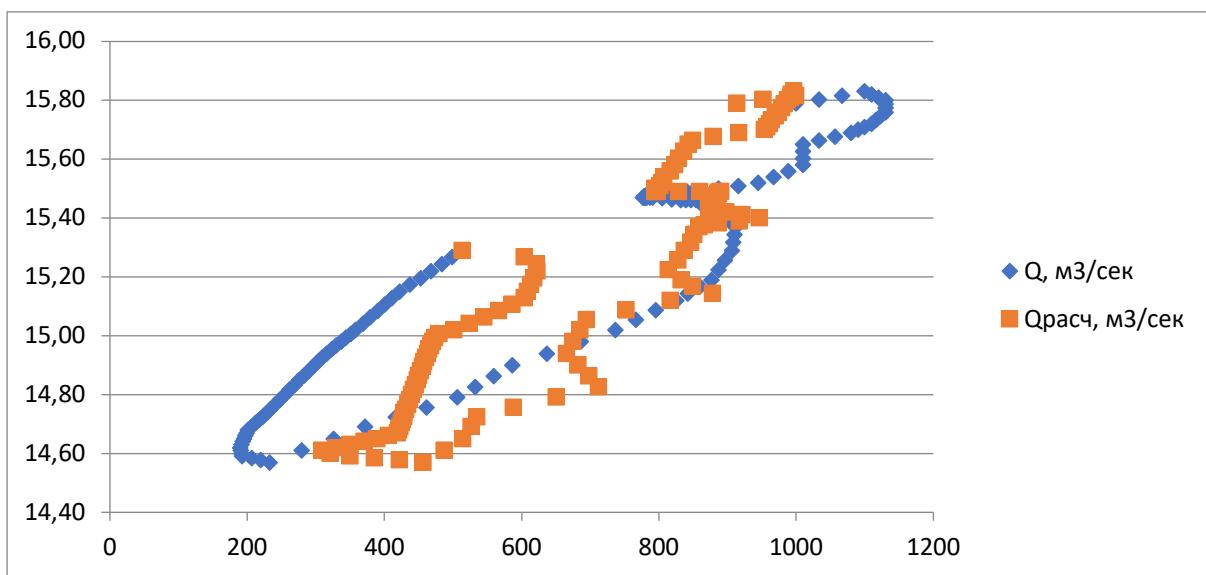
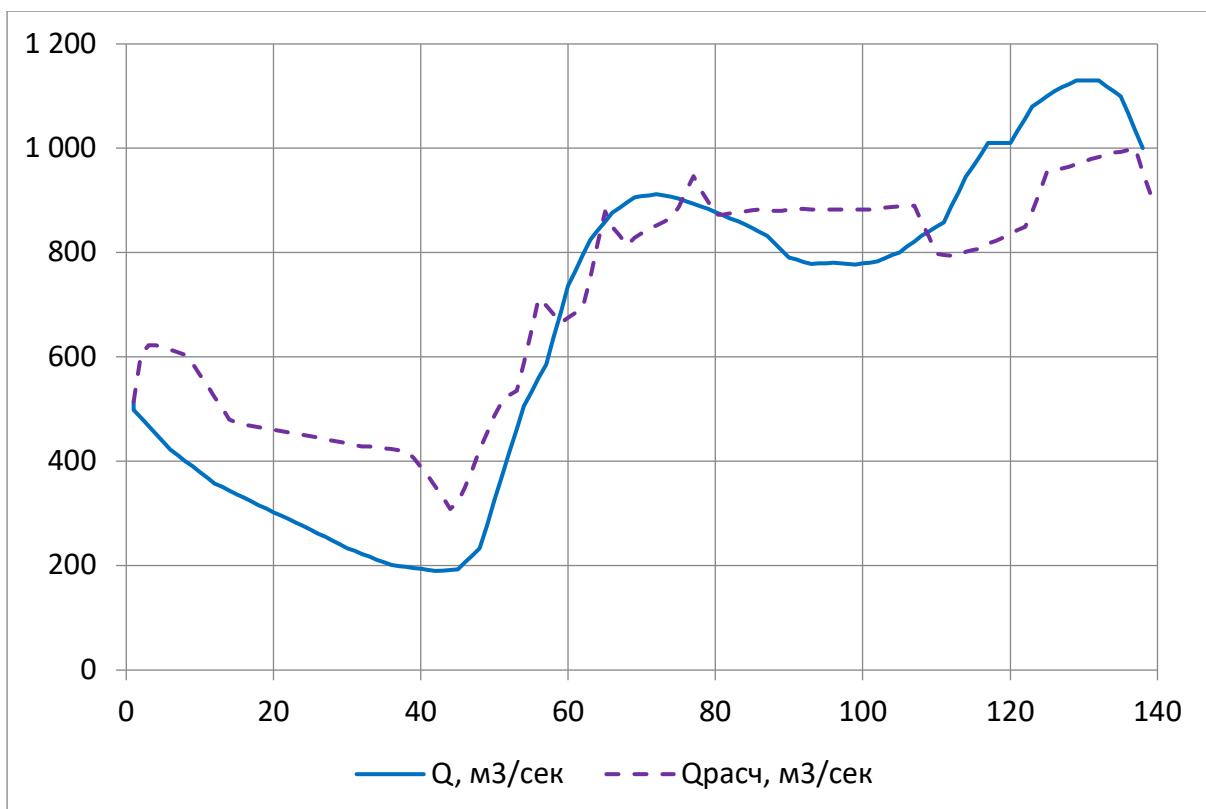
ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные за октябрь для моделирования склонового стока
р.Свирь

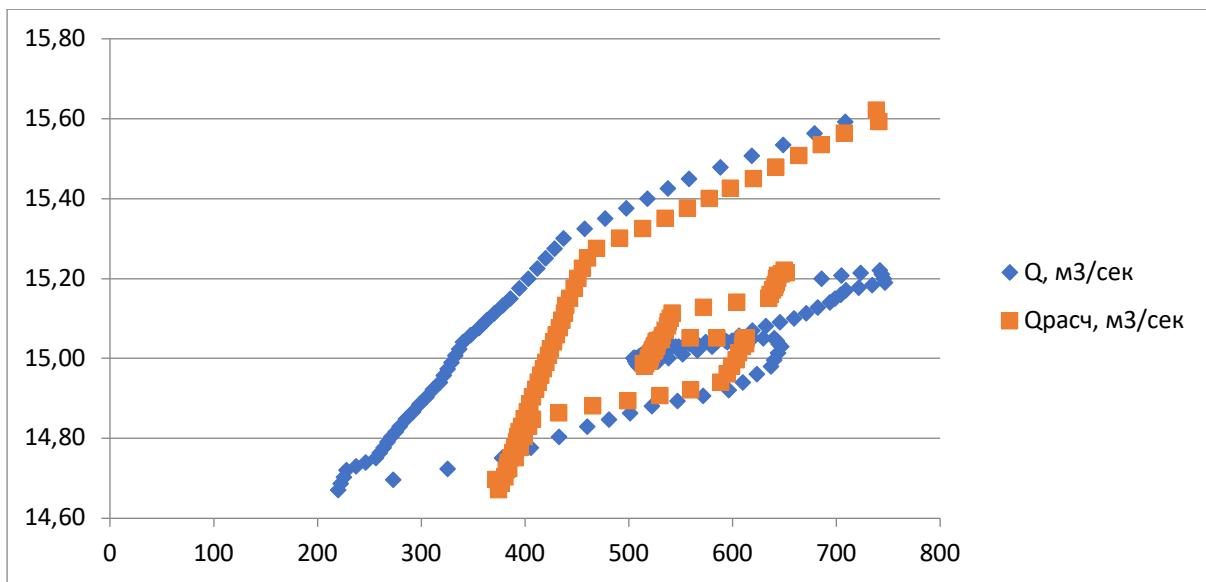
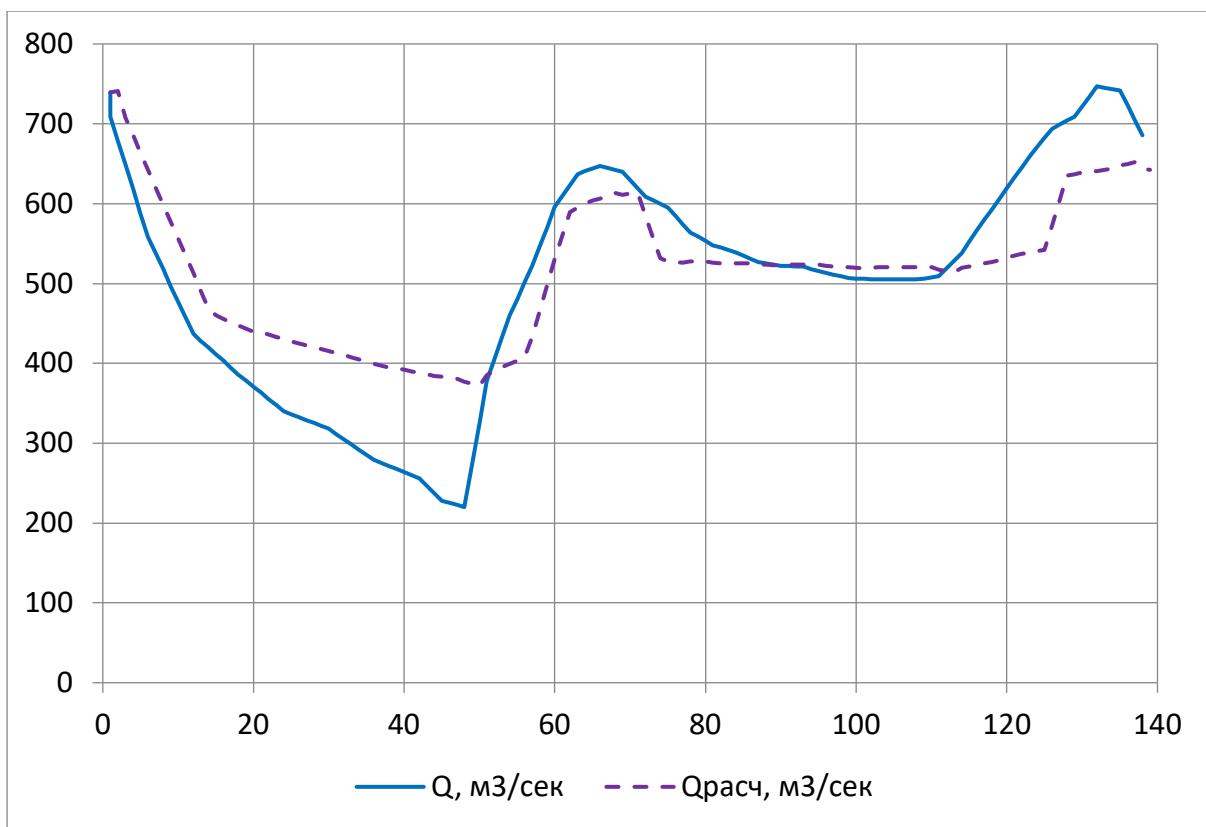
25



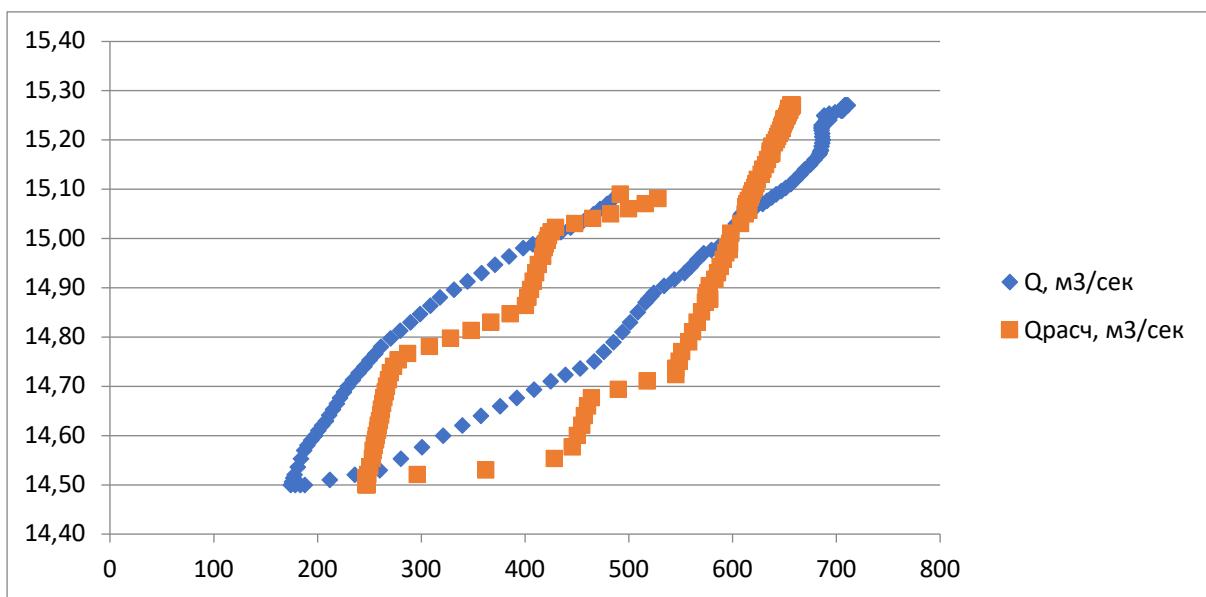
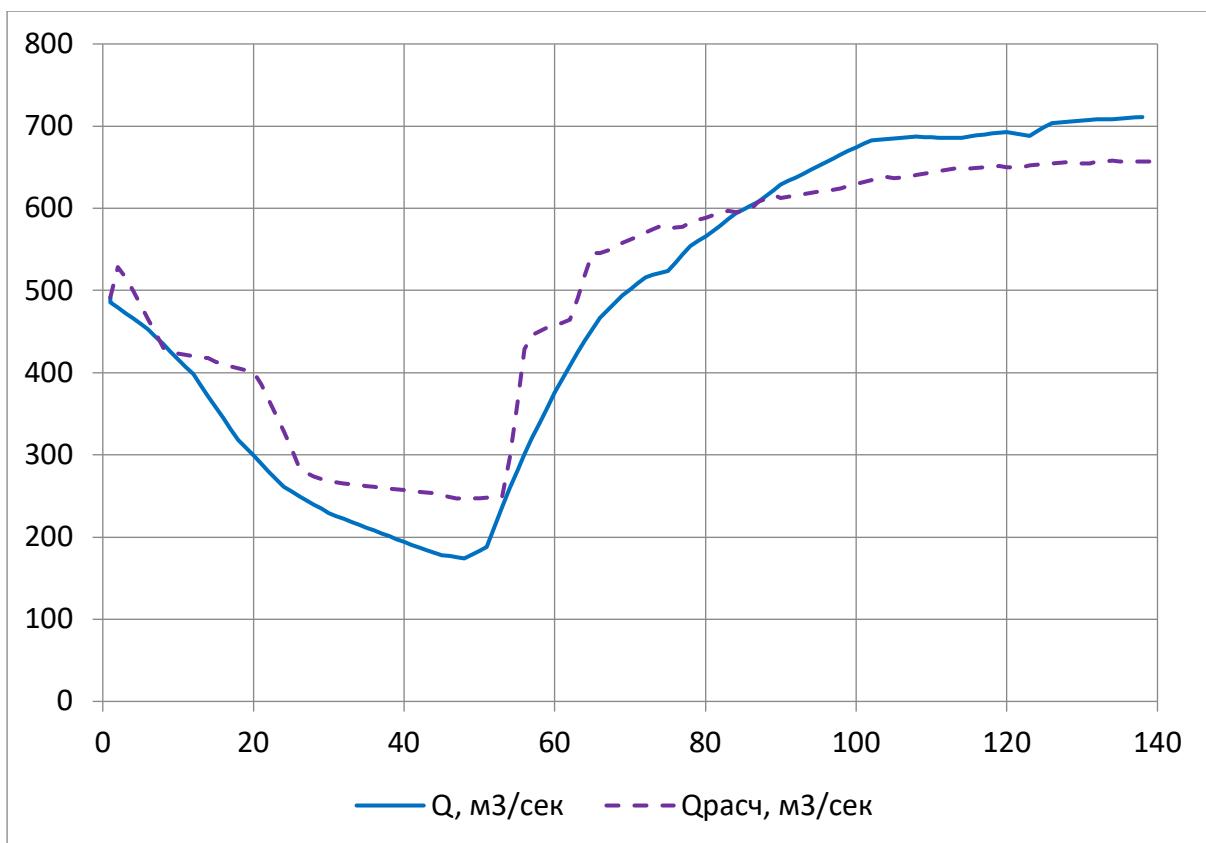
26



27



28



29

