



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 Разработка информационной  
системы предоставления данных об уровне  
режиме водных объектов:  
возможности создания геопространственных  
двойников для уровней воды водных объектов  
Северо-Западного региона

Исполнитель Балабин Климентий Олегович  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Мякишева Наталия Вячеславовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

Гайдук  
(подпись)

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

Гайдукова Екатерина Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«29» мая 2025г.

Санкт-Петербург  
2025

## Оглавление

	Стр.
Введение	4
1. Формирование геопространственной базы данных гидрологических характеристик с приведением к единой системе отчета	6
1.1 Гидрологическая изученность водосборов рек Федеральных округов РФ	6
1.2 Источники открытых данных о водности рек и метеорологической обстановки (анализ конкурентов стартапа)	11
1.2.1 <i>U.S. Geological Survey</i>	12
1.2.2 <i>Gismeteo</i>	13
1.2.3 <i>Keskkonnaagentuur</i>	15
1.2.4 Вода-СТ	16
1.2.5 <i>Flood firetree</i>	18
1.2.6 <i>Meteoblue</i>	19
1.2.7 <i>Emercit</i>	20
1.3 Методы приведения уровней воды к единой отметке	22
1.4 Создание базы данных уровней воды с возможностью обновления для Северо-Западного региона	26
2. Возможности создания геопространственных двойников для уровней воды водных объектов Северо-Западного региона	45
2.1 Методы картирования гидрологических параметров и уровней воды	45
2.2 Эффективные методы прогноза уровней воды рек Северо-Западного региона	70
3. Гидроэкономическое обоснование решения с учетом производственных функций Северо-Западного региона	95
3.1 Бизнес-план проекта	95

3.2 Экономическое обоснование решения, потенциальные пользователи и заказчики	101
3.3 Производственные функции, показывающие целесообразность разработанного продукта	102
3.4 Расчет оптимального полезного объема для реального объекта, на примере Волховского водохранилища	111
Заключение	115
Список литературы	116

## Введение

Гидрологический мониторинг водных объектов играет ключевую роль в управлении водными ресурсами, предотвращении наводнений и обеспечении безопасности населения. Северо-Западный регион России, обладая развитой сетью рек и водоемов, требует современных решений для оперативного контроля и прогнозирования уровней воды.

В данном проекте рассматривается создание информационной системы, объединяющей данные гидрологических постов, метеорологические показатели и методы интерполяции для визуализации и прогнозирования уровней воды. Актуальность работы обусловлена необходимостью минимизации рисков для населения и экономики региона, связанных с изменением гидрологического режима.

Проект включает анализ существующих методов интерполяции и прогнозирования, разработку интерактивной карты, а также экономическое обоснование внедрения системы. Результаты работы могут быть использованы для принятия решений в области водного хозяйства, экологического мониторинга и чрезвычайного реагирования.

### Цель:

разработка геопространственной базы данных гидрологических характеристик для Северо-Западного региона России с приведением данных к единой системе отчета, а также создание интерактивной карты уровней воды с возможностью прогнозирования и оповещения о потенциальных угрозах.

### Задачи:

- Анализ гидрологической изученности водосборов рек Северо-Западного федерального округа.
- Исследование источников открытых данных о водности рек и метеорологической обстановке.
- Разработка методов приведения уровней воды к единой отметке.
- Создание базы данных уровней воды с возможностью обновления.

- Разработка эффективных методов прогнозирования уровней воды.
- Гидроэкономическое обоснование проекта, включая бизнес-план и анализ потенциальных пользователей.
- Оценка производственных функций, демонстрирующих целесообразность разработанного продукта.

# 1. Формирование геопространственной базы данных гидрологических характеристик с приведением к единой системе отчета

## 1.1 Гидрологическая изученность водосборов рек Федеральных округов РФ

Гидрологический пост – это пункт на водном объекте, оснащенный совокупностью различного оборудования и приборов, которые используются для измерений гидрометрических характеристик водных объектов, а также мониторинга. Гидрологический пост в узком смысле – объект, где проводятся гидрологические наблюдения. Они делятся на несколько основных видов – речные (ГП), озерные (ОГП) и морские (МГП).

Интересующие нас речные гидрологические посты обычно разделяют на разряды. На гидрологическом посту 1 разряда проводится полный объем измерений и наблюдений, включающих в себя измерение расхода воды, скорости течения, уклона водной поверхности, расхода взвешенных и влекомых наносов, а также мониторинг уровня, температуры, загрязнения воды и ледовых явлений. На гидрологических постах 2 и 3 разрядов работают по сокращенной программе, зачастую только наблюдая за уровнем, температурой и загрязнением воды, а также за ледовой обстановкой на реке в пределах поста.

Речные гидрологические посты также могут классифицироваться на два вида – водомерный пост и гидроствор. Водомерные гидрологические посты относят ко 2 и 3 разрядам. Зачастую они оснащены только водомерной рейкой или самописцем, приборами для измерения температуры и мутности воды, а также геодезическим репером с известной абсолютной отметкой для дальнейшей привязки всех наблюдений. Водомерные посты бывают:

- Речные (используется водомерная рейка, обычно прикрепленная к гидротехническому сооружению. Вбитая в дно вертикальная рейка тоже является своего рода малым гидротехническим



сооружением, и, как следствие, также водомерным постом, однако необходима геодезическая привязка)

- Свайные (используются деления на сваях гидротехнического сооружения, вбитых в дно)
- Передаточные (используется размеченная веревка или измерительную рулетка с подвешенным грузом)
- Дистанционные (используют автоматизированные уровнемеры и датчики, передающие отсчёты на расстояние)

Гидростворы же являются гидрологическими постами 1 разряда. Для их использования и проведения всех необходимых измерений требуется доступ не только к небольшой береговой части реки вокруг водомерного поста, но также еще и ко всей ширине участка реки в данном створе. Гидроствор должен проходить перпендикулярно течению реки. Гидростворы бывают:

- Мостовые (оснащены гидрометрическими мостиками для проведения измерительных работ)
- Люлочные (оснащены тросовыми люлочными переправами. Трос обычно крепится за специальные сваи на разных берегах)
- Лодочные (оснащены лодочными переправами, которые уступают люлочным из-за возможной необходимости маневра во время проведения измерительных работ)
- Водосливы (для измерения расхода воды используется специально выведенная формула для конкретного водослива)

Для описания общего состояния гидрологической изученности было выбрано 3 округа – Северо-Западный, Центральный, а также республика Башкортостан.

Общее состояние гидрологической изученности на территории Северо-Западного округа отличается развитой сетью наблюдательных пунктов. В регионе действует большое количество гидропостов (224), которые обеспечивают мониторинг состояния водных объектов, таких как Нева,

Волхов, Ловать, Плюсса, Свирь и другие. Все пункты распределены по категориям в зависимости от типа производимых измерений, что позволяет получать широкую и разностороннюю информацию о состоянии водных ресурсов.

В рамках модернизации системы гидрологического мониторинга было внедрено множество автоматизированных гидрологических комплексов, что обеспечивает автономный контроль состояния водных объектов с интервалом до 10 минут.

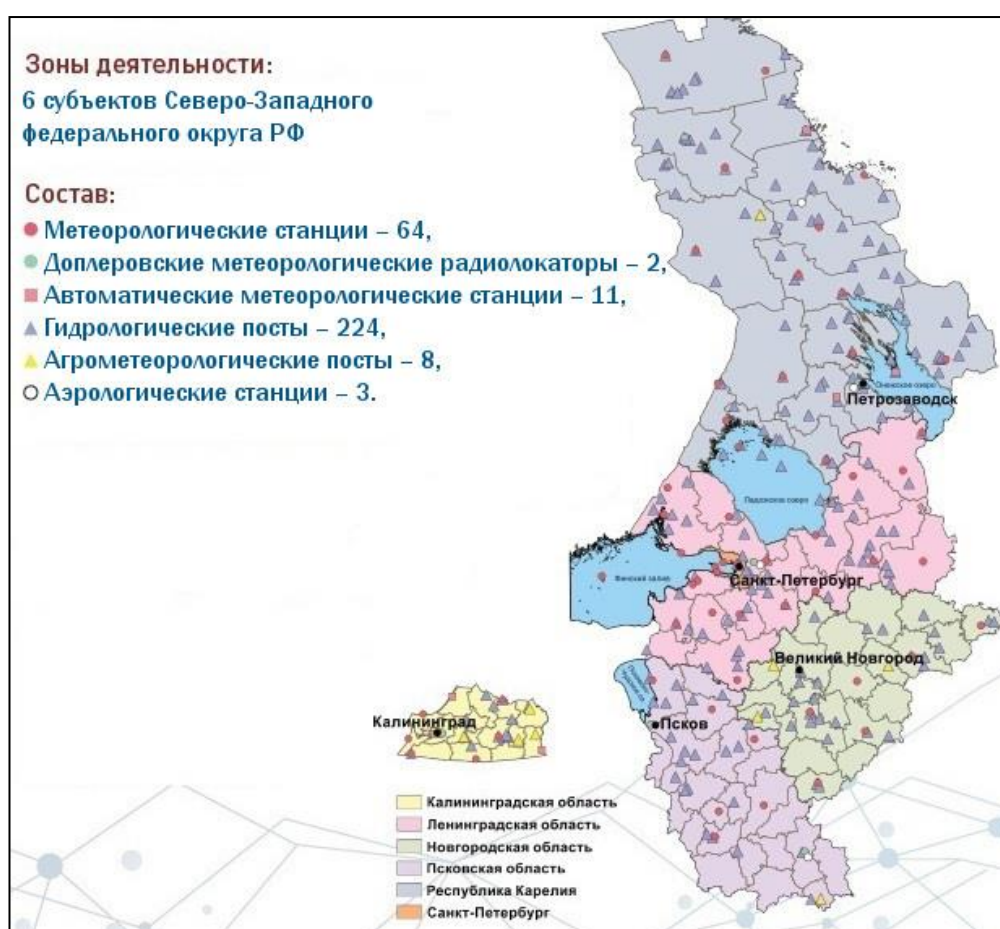


Рисунок 1.1 – Карта гидрологической сети Северо-Западного округа

На территории Центрального округа, работают 194 гидрологических пункта наблюдений. Из них 163 расположены на реках и 31 на озерах, что формирует одну из самых плотных сетей гидрологического мониторинга в России.



Все пункты наблюдений распределены по пяти категориям в зависимости от состава проводимых измерений. Самый полный перечень наблюдений включает: уровни и расходы воды, ледовые явления, толщину льда и высоту снега на нем, состояние русла в теплый период, волнение, температуру воды и воздуха, осадки, ветер, а также мутность воды.

В результате модернизации системы мониторинга рек и водоемов было установлено 81 автоматический гидрологический комплекс. Эти комплексы позволяют проводить мониторинг на водном объекте автономно с интервалом до 10 минут.

В Москве и Московской области функционируют 29 речных и 5 озерных гидропостов. При этом 14 из них дополнительно оснащены автоматизированными гидрологическими системами.

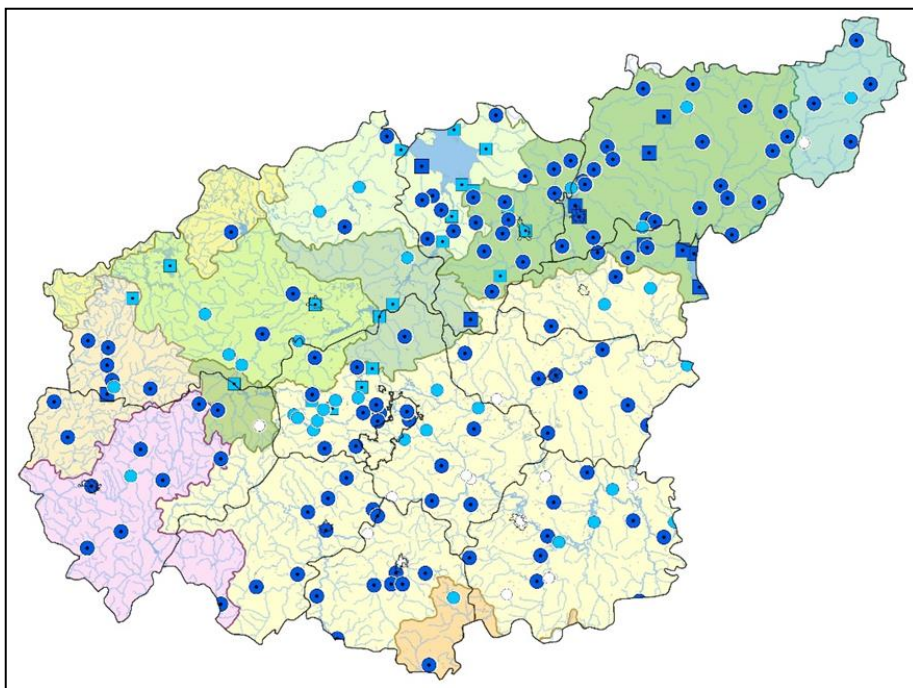


Рисунок 1.2 – Карта гидрологической сети Центрального округа

Гидрологическая сеть Республики Башкортостан включает 73 поста, из которых на 48 осуществляется измерение расхода воды, а на 9 ведутся наблюдения за программой озёр и водохранилищ.

## КАРТА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

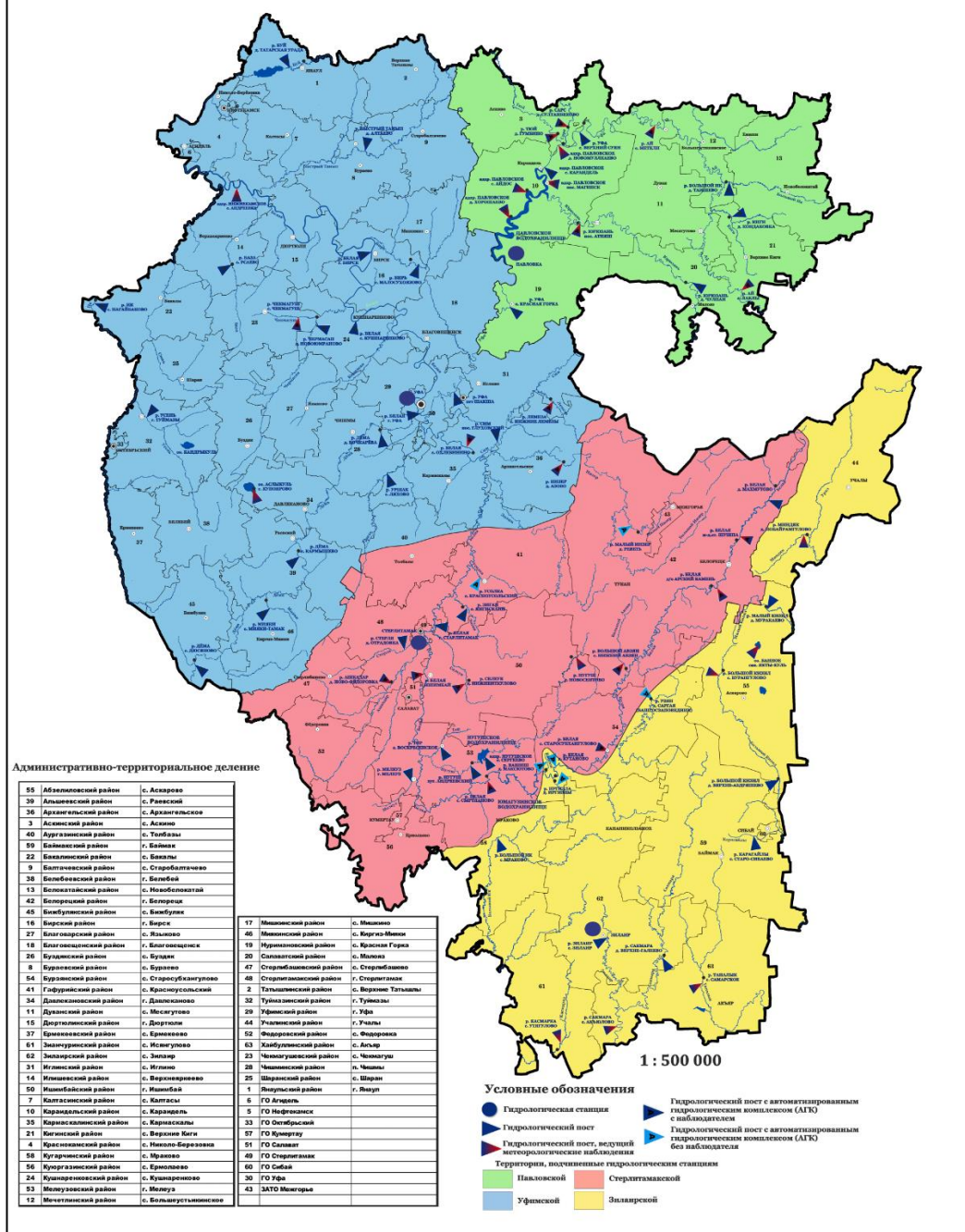


Рисунок 1.3 – Карта гидрологической сети республики Башкортостан

В пределах Башкортостана действуют четыре гидрологические станции, входящие в Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу среды. Они расположены в Уфе, Стерлитамаке, Зилаире и Павловке (последняя является озерной станцией). Три станции – Уфа, Стерлитамак и Павловка – изучают гидрологический режим бассейна реки Белой, охватывая

53 водных поста. К основным исследуемым рекам относятся Белая, Уфа, Дёма, Уршак, Инзер, Чермасан, Чекмагуш, Ашкадар, Стерля, Мияки, Бирь и другие (подробнее см. на карте). Кроме того, станция в Павловке занимается мониторингом режима Павловского водохранилища через пять водных постов, а также следит за состоянием Нижнекамского и Нугушского водохранилищ и озёр Асли-Куль (пост в Купоярово).

Станция Зилаир отвечает за исследования бассейна реки Урал с использованием 11 речных постов и одного озёрного поста на озере Банное (в районе санатория Якты-Куль). К покрываемым рекам относятся Сакмара, Таналык, Касмарка, Зилаир, Миндяк, Большой Ик и другие.

## 1.2 Источники открытых данных о водности рек и метеорологической обстановки (анализ конкурентов стартапа)

В качестве сравнительного анализа были выбраны и проанализированы 7 сайтов-конкурентов, также рассматриваемых и в презентации проекта в рамках акселерационной программы. В связи с почти полным отсутствием прямых конкурентов по тематике «Информационная система предоставления данных об уровне водных объектов», были рассмотрены преимущественно только косвенные конкуренты. Для многостороннего взгляда на проблему и подчеркивания различных особенностей и уникальных способов решения проблем конкурентов, для сравнительного анализа были выбраны сайты из разных сфер естественных наук.

### 1.2.1 U.S. Geological Survey



Рисунок 1.4 – Интерфейс сайта «U.S. Geological Survey»

USGS – американский сайт, который выполняет роль независимого агентства, предоставляющего достоверные данные. Оно занимается сбором, мониторингом, анализом и интерпретацией научной информации о природных ресурсах, условиях окружающей среды, а также о природных угрозах и рисках.

Основная ценность USGS заключается в его способности проводить масштабные исследования, одновременно поддерживая долгосрочный мониторинг и оценку состояния ресурсов и природных опасностей. Одной из ключевых задач данного ресурса является обеспечение общества научной информацией через различные продукты. На сайте присутствует большое количество гидрометеорологической информации, обновляющейся каждый день. Конкретно в области гидрологии сайт регулярно публикует ежедневные данные об уровнях воды на гидрологических постах.

Преимущества:

- Удобный интерфейс с выбором нужного района
- Предоставление информации о повышении/понижении уровня воды в сравнении с предыдущим днем

- Большой объем не только гидрологических, но еще и других данных о природе

Недостатки:

- Отсутствие интерполяции для районов, где не проводится мониторинг уровней воды
- Присутствие на карте недействующих гидрологических постов, что отвлекает внимание

Так как сайт является зарубежным и содержит в себе гидрологические данные только в пределах Соединенных Штатов, прямым конкурентом его назвать нельзя.

### *1.2.2 Gismeteo*

Гисметео – это популярный метеорологический сервис, которым ежедневно пользуются миллионы людей по всему миру. Благодаря сайту, мобильным приложениям и виджетам можно моментально узнать текущую погоду, а также получить прогноз температуры, осадков и других важных показателей для любого региона на планете.

Кроме того, платформа предлагает профессиональные программные комплексы, разработанные для различных отраслей, таких как авиация, морские службы, энергетика, сельское хозяйство и экология. Эти инструменты позволяют проводить детальный метеорологический анализ, что особенно важно для сфер, где погода играет ключевую роль.



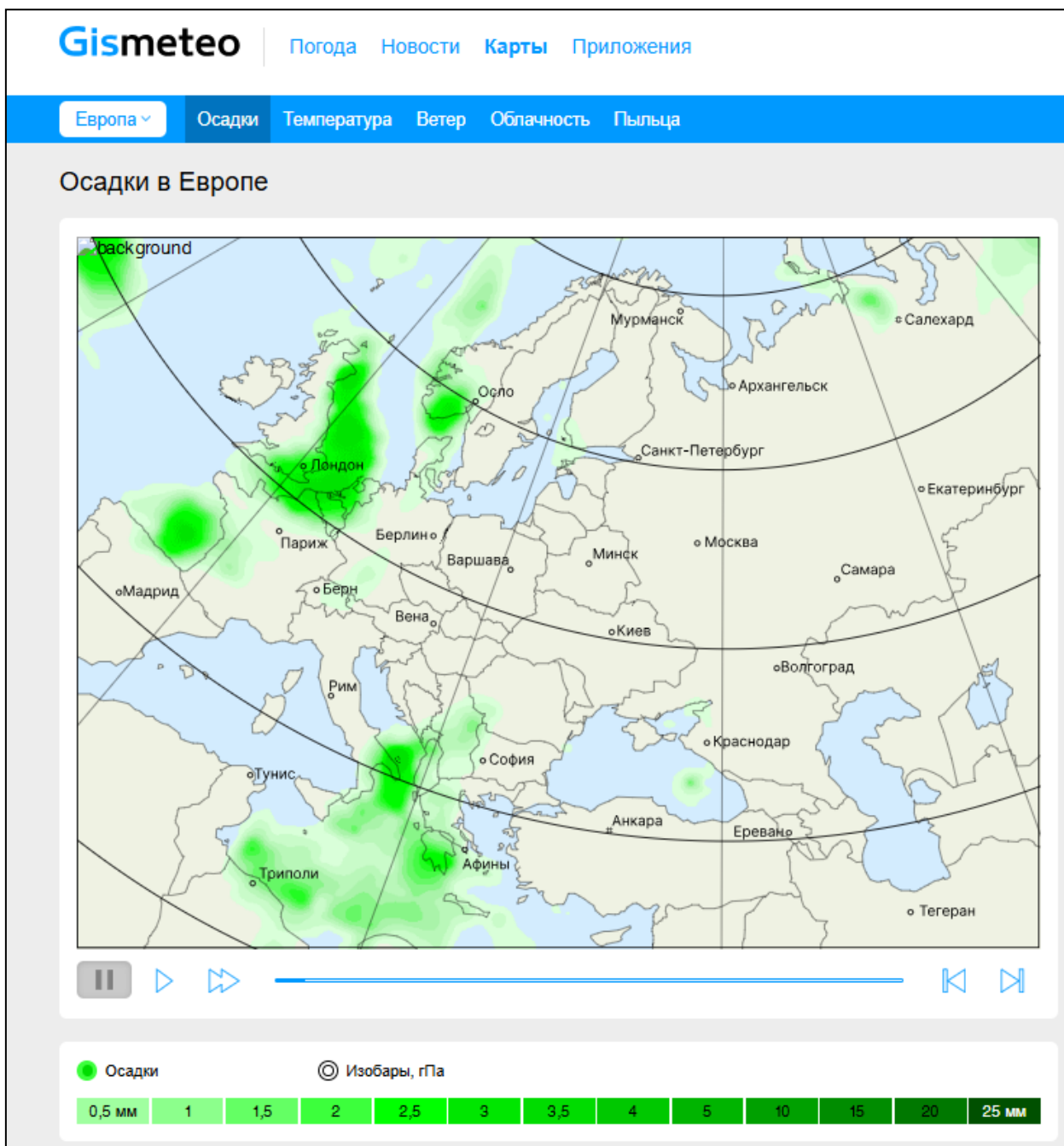


Рисунок 1.5 – Интерфейс сайта «Gismeteo»

Работа команды ресурса организована в трех основных направлениях:

- Научно-исследовательское подразделение занимается созданием и совершенствованием алгоритмов для сбора, обработки данных и прогнозирования погоды.
- Журналисты и синоптики освещают события, связанные с климатом, природными явлениями и космосом.



- Программисты и дизайнеры разрабатывают продукты, которые позволяют быстро и удобно получать доступ к актуальной погодной информации с любого устройства и из любой точки мира.

Преимущества:

- Удобная интерактивная карта
- Присутствует прогнозирование метеоданных

Недостатки:

- Отсутствие ретроспективных данных.

### 1.2.3 Keskkonnaagentuur

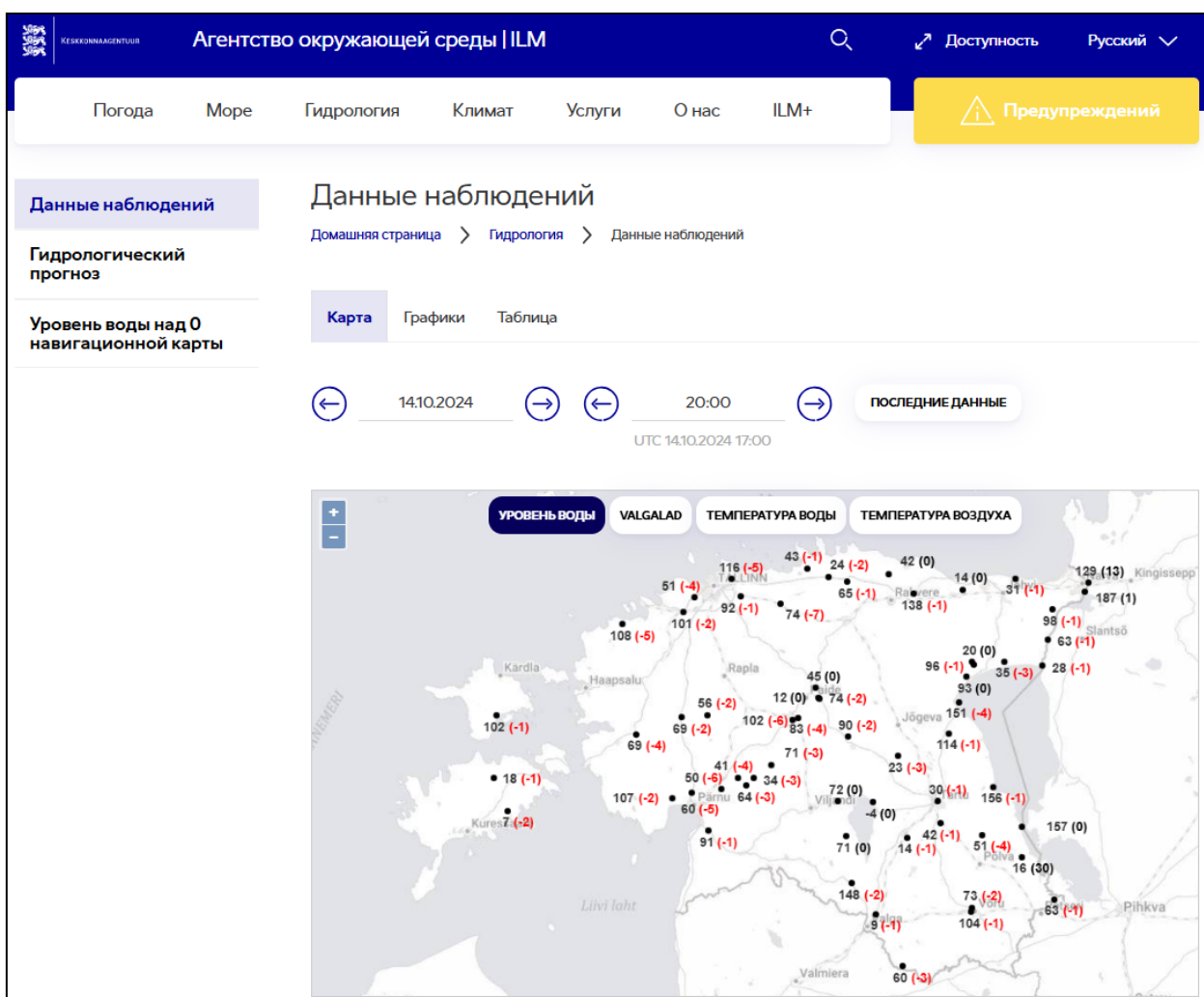


Рисунок 1.6 – Интерфейс сайта «Keskkonnaagentuur»

С 1 июня 2013 года функции Эстонской национальной службы погоды выполняет Агентство по окружающей среде, созданное путем объединения Института метеорологии и гидрологии Эстонии с Информационным центром по окружающей среде.

Ресурс предоставляет такую информацию, как:

- Информация о фактической погоде в интересующий период
- Исторические данные наблюдений
- Статистически обработанные метеорологические и гидрологические данные, расчёты, климатический анализ, выездные гидрологические работы
- Авиационно-метеорологическая информация

Преимущества:

- Большой перечень данных
- Мониторинг не только гидрографии страны, но еще и Финского залива
- Удобная и наглядная интерактивная система прогнозирования

Недостатки:

- Сравнительно слабое прогнозирование метеоданных

Так как сайт является зарубежным и содержит в себе гидрологические данные в пределах Эстонии, прямым конкурентом его назвать нельзя.

#### 1.2.4 Вода-СТ

Карта, отражающая глубину залегания грунтовых вод, предоставляет важную информацию, которая может быть полезна для следующих целей:

- Определение типа фундамента для дома или другой запланированной постройки, а также расчет необходимой глубины его закладки
- Выбор оптимальных мест для бурения скважин

- Определение подходящих участков для установки септиков и организации ливневой канализации

На карте обозначены уже существующие скважины с указанием их глубины. Это позволяет анализировать их характеристики в конкретном районе, и на основе этих данных приблизительно определить необходимую глубину будущего источника.

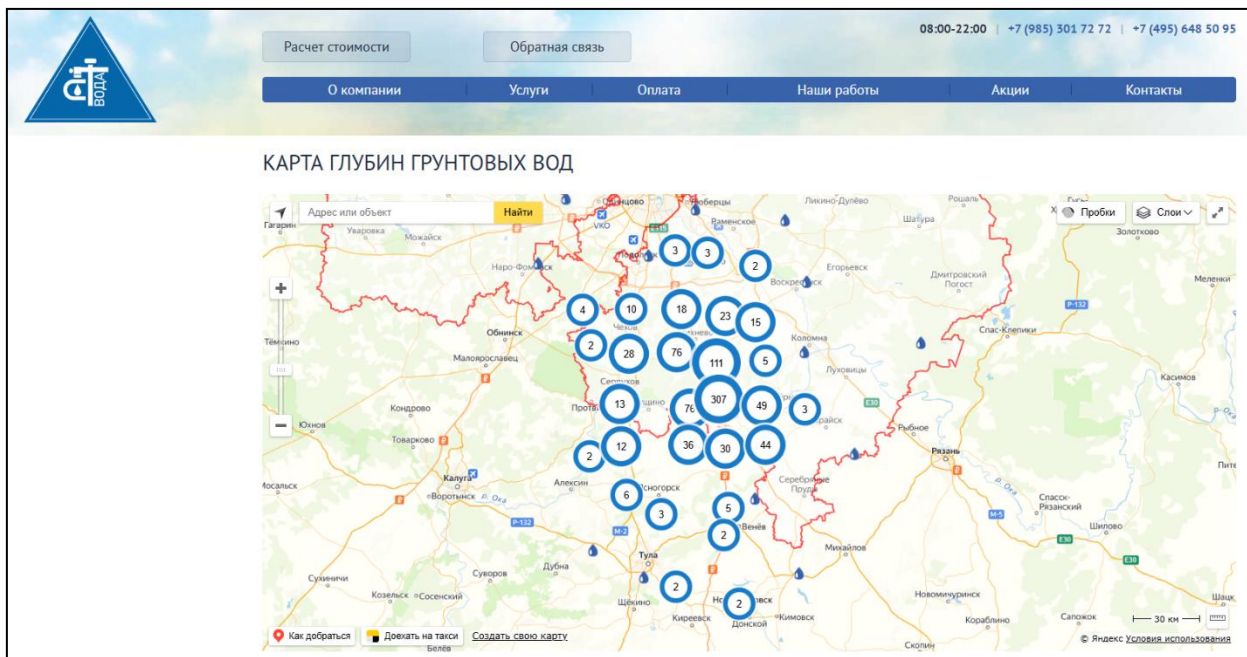


Рисунок 1.7 – Интерфейс сайта «Вода-СТ»

Карта постоянно пополняется, на ней появляются новые отметки, за счет чего она становится более информативной.

Преимущества:

- Уникальность по сфере применения
- Постоянное добавление новых скважин на интерактивную карту

Недостатки:

- Относительно небольшой район проведения бурильных работ
- Редкое обновление данных уровней залегания грунтовых вод

### 1.2.5 Flood firetree

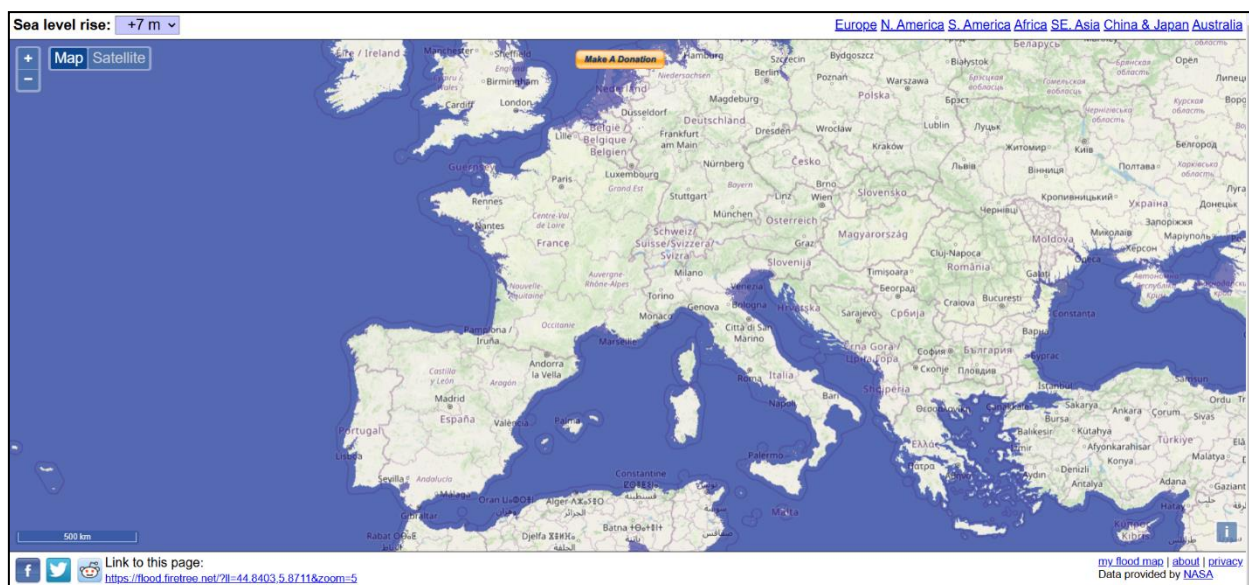


Рисунок 1.8 – Интерфейс сайта «Flood firetree»

Этот сайт визуализирует последствия наводнений и затопления территорий при различных уровнях повышения воды. Однако существует ряд источников существенных неточностей. Все эти неточности склонны к излишнему оптимизму – их устранение лишь показало бы более серьезные последствия увеличения уровня моря. Основная цель этих карт заключается в том, чтобы заставить широкую аудиторию задуматься о влиянии глобального потепления.

Преимущества:

- Интересный принцип действия интерактивной карты

Недостатки:

- Нет реальных данных, только моделирование с определенным списком неточностей

### 1.2.6 *Meteoblue*

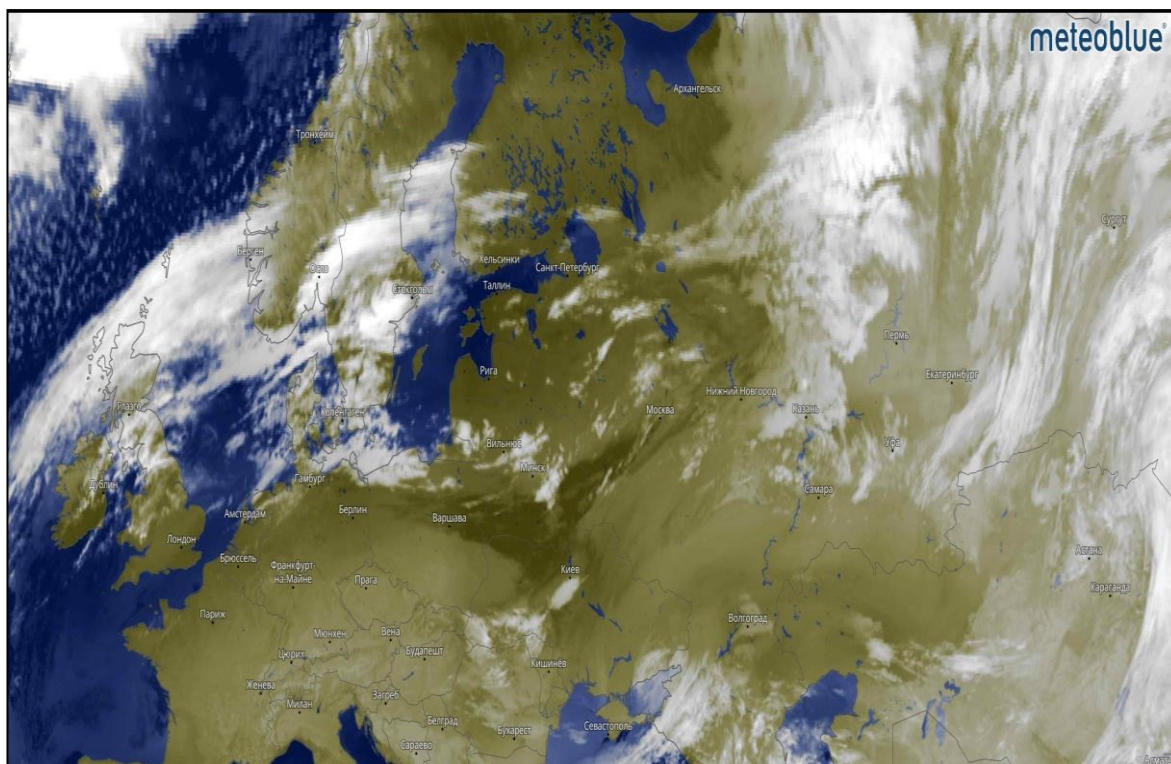


Рисунок 1.9 – Интерфейс сайта «*Meteoblue*»

*Meteoblue* предоставляет высокоточные данные о погоде для любой точки суши или акватории по всему миру.

Ассортимент их продуктов достаточно разнообразен: от контента для веб-сайтов и мобильных приложений, ориентированных на массовую аудиторию, до премиальных подписочных услуг, разработанных для частных пользователей и малого бизнеса. Кроме того, предлагаются специализированные бизнес-решения для корпоративных партнеров.

Компания применяет новейшие достижения науки и технологий для разработки, визуализации и распространения метеоданных. Собственные высокоточные модели прогнозирования погоды создаются с использованием современных методов моделирования.

Однако следует учитывать, что ни одна автономная (или так называемая сырая) модель прогноза погоды не является полностью идеальной. Точность предсказаний может зависеть от текущих погодных условий, места, сезона или



даже времени суток, что делает одни прогнозы более надежными, чем другие в определенных ситуациях.

Чтобы решить эту задачу, *Meteoblue* использует *MultiModels* – усовершенствованную систему моделирования. *MultiModel* представляет собой интегрированную модель, созданную путем анализа и сопоставления данных более чем из 30 различных метеомоделей, как собственных, так и сторонних. Искусственный интеллект компании объединяет эти данные в обобщенный и наиболее достоверный прогноз.

Этот инновационный подход не просто предоставляет стандартные данные о погоде и климате, но и предлагает на рынке одни из самых точных и адаптированных прогнозов для различных сценариев использования.

Преимущества:

- Высокоскоростная доставка данных и изображений
- Моделирование с максимально доказанной точностью
- Данные о погоде для любого места на Земле
- Хранилище почасовых данных без пропусков с 1940 года

Недостатки:

- Большое количество прямых конкурентов сервиса

### 1.2.7 *Emercit*

Эмерсит – научно-производственная компания, работающая в сфере информационных технологий. Она специализируется на разработке, производстве и внедрении программного обеспечения и оборудования для автоматизированных систем управления и комплексов мониторинга различного назначения. Программные продукты компании, такие как серверное ПО Эмерсит-П10 и комплекс для измерения параметров окружающей среды Эмерсит-М35, внесены в единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных.





Рисунок 1.10 – Интерфейс сайта «Emercit»

Техногенные катастрофы, природные аномалии и чрезвычайные ситуации наносят серьезный экономический ущерб государству и бизнесу, уничтожают сельскохозяйственные посевы, повреждают имущество и, что самое трагичное, часто приводят к человеческим жертвам.

На сегодняшний день одной из ключевых задач всех регионов остается отслеживание состояния окружающей среды, анализ её изменений и своевременное получение данных о возможных природных угрозах. Для этого требуется профессионально организованный и оперативный процесс экологического мониторинга.

Компания Эмерсит разработала информационно-аналитическую систему мониторинга параметров окружающей среды, которая позволяет в реальном времени контролировать состояние экосистем с целью выявления и прогнозирования опасных природных явлений и процессов. Система подходит для мониторинга самых разнообразных объектов: водоемов, зон отдыха, населенных пунктов, промышленных предприятий, а также объектов топливно-энергетического и агропромышленного комплексов.

Использование автоматизированных систем мониторинга Эмерсит помогает значительно уменьшить последствия чрезвычайных ситуаций природного характера.

Преимущества:

- В основе эффективного мониторинга окружающей среды лежит интегрированный подход, который подразумевает выстраивание единой цепочки таких процессов, как наблюдение, оценка, контроль и прогноз

Недостатки:

- Мониторинг охватывает не все потенциально подвергаемые наводнениями районы

Так как автоматизированные системы команды Эмерсит являются неким ориентиром в области мониторинга уровня режима водных объектов, их можно считать прямыми конкурентами. Однако сайт компании Эмерсит не освещает обстановку Северо-Западного региона, на котором делается акцент в нашем продукте.

### 1.3 Методы приведения уровней воды к единой отметке

Наблюдения за уровнями воды на водомерных постах должны быть организованы таким образом, чтобы данные:

- Оставались сопоставимыми на протяжении всего периода работы каждого поста
- Позволяли сравнивать результаты наблюдений между несколькими постами, расположенными на одном водоеме.

Эти условия могут быть соблюдены при внедрении единой системы наблюдений для всех постов. Уровни воды, зафиксированные на водомерных постах, должны быть привязаны к условной плоскости нуля графика поста,

которая сохраняет неизменную высотную отметку на протяжении всего существования поста.

При создании водомерного поста отметка нуля графика назначается так, чтобы плоскость нуля находилась как минимум на 0,5 м ниже самого низкого ожидаемого уровня воды в реке или озере в точке измерений. Это необходимо для того, чтобы даже при минимальных уровнях воды измерения относительно нуля графика всегда имели положительные значения. На участках рек с нестабильным руслом отметку нуля графика нужно устанавливать с учетом возможных процессов эрозии русла. Если глубина русла незначительна, отметка нуля может быть приурочена к точке минимальной отметки дна реки в точке измерений или расположена чуть ниже этой отметки.

Когда несколько постов размещено на коротком участке реки (длиной 5–10 км) с низким уклоном, рекомендуется вводить общий нуль графика для всех этих постов. Аналогично общий нуль графика следует устанавливать для всех постов, находящихся на одном озере или водохранилище.

На водохранилищах отметка нуля графика поста назначается на 0,5—1,0 метра ниже проектного уровня сработки в приплотинной части водохранилища. Однако в некоторых случаях бывает необходимо пересмотреть назначение этой отметки. Изменение высотного положения плоскости нуля графика осуществляется в следующих ситуациях:

- Перенос поста на значительное расстояние.
- Ошибочное первоначальное определение отметки низшего уровня воды.
- Радикальное изменение уровня режима (например, при создании водохранилища).

Кроме того, может потребоваться коррекция отметки нуля графика без изменения его фактического высотного положения. Такая необходимость возникает, если пересчитываются отметки постовых реперов:

- при переходе от условной системы отметок к Балтийской;
- при перерасчете исходных реперов органами ГУГК;

- при повторной нивелировке, если обнаруживаются расхождения, превышающие допустимые невязки нивелирного хода.

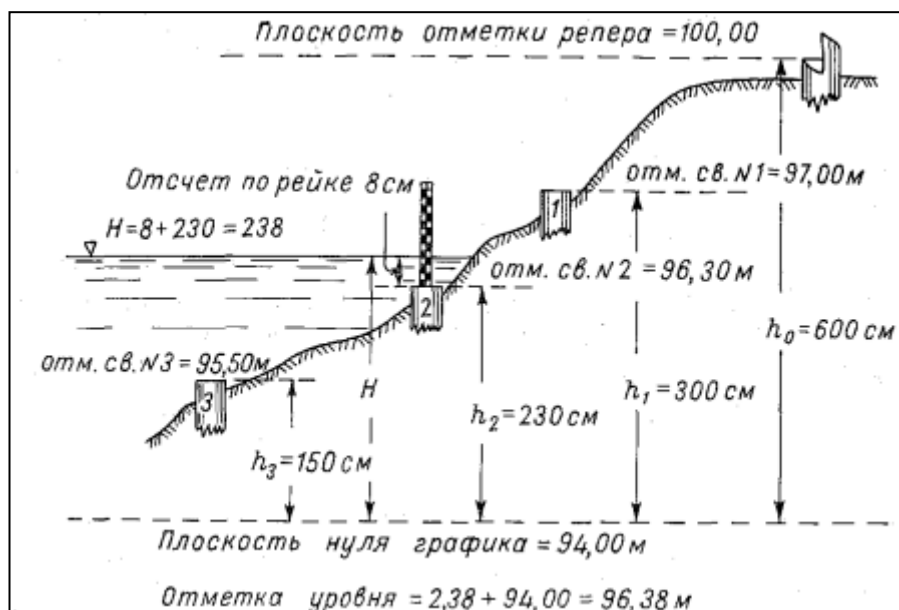


Рисунок 1.11 – Схема отметок и отсчетов на свайном водомерном посту

Высотное положение плоскости нуля графика определяется вертикальным расстоянием  $h_0$  (рис. 11) от репера водомерного поста. Если репер имеет абсолютную отметку, то, вычитая превышение  $h_0$  репера над нулем графика, можно определить абсолютную отметку нуля графика поста.

На водомерных постах, помимо нуля графика, существуют нули наблюдения (один или несколько, в зависимости от количества реек или свай). Под этим термином подразумевается высотная плоскость, от которой измеряется уровень воды в момент наблюдения. Высотное положение этих нулей устанавливается в зависимости от превышения репера над площадками свай или нулями реек. Например, на речном посту это плоскость нуля рейки, а на свайном – головка сваи. На представленной схеме плоскость нулевого наблюдения показана для сваи № 2.

Таким образом, нуль наблюдения отличается от нуля графика тем, что он является не условной, а физической плоскостью. Его положение может изменяться в зависимости от колебаний уровня воды и количества

установленных на посту реек или свай, например при проведении ремонта и замене оборудования. Превышения реек и головок свай над нулем графика именуются приводками и выражаются разностью высотных отметок этих элементов. Приводки обычно представляются в сантиметрах для удобства расчетов.

Прежде чем начать наблюдения на водомерном посту, необходимо выполнить следующие действия:

- Определить отметку нуля графика поста.
- Провести нивелировку репера поста для установки отметок нулей реек или площадок свай.
- Рассчитать приводки всех реек или свай относительно нуля графика поста в сантиметрах.

Процесс наблюдений на речном или свайном посту включает:

- Запись номера рейки или сваи и фиксацию уровня воды – для речного поста это производится по постоянной рейке, а для свайного – по переносной рейке, установленной на площадке сваи. Отсчет уровня записывается в сантиметрах.
- По таблице нивелировки устанавливается приводка выбранного элемента (рейки или сваи).
- Высчитывается уровень воды над нулем графика поста (приведенный уровень), который равен сумме отсчета воды по рейке/свае и соответствующей приводки.

На схеме показан пример: отсчет уровня воды по переносной рейке на свае № 2 составляет 8 см, а приведенный уровень относительно нуля графика равен 8 плюс  $h_2$  см. Для получения абсолютной отметки уровня воды к этой величине добавляют абсолютную отметку нуля графика поста.

#### 1.4 Создание базы данных уровней воды с возможностью обновления для Северо-Западного региона

В качестве объекта апробации создания интерактивной карты была выбрана река Луга.

Река Луга занимает значимое место среди водных объектов Северо-Запада России, протекая в пределах Ленинградской области. Ее длина достигает около 151 километра, а площадь бассейна составляет приблизительно 4600 квадратных километров. Луга берет начало в заболоченных и лесных районах южной части региона и течет преимущественно на юго-восток, впадая в Неву.

Гидрологические характеристики реки зависят от сезона. Весной вода поднимается из-за таяния снега и увеличения осадков, что вызывает паводки. Летом уровень воды заметно снижается, особенно в засуху. В зимние месяцы река замерзает, лед достигает значительной толщины, что влияет на судоходство и гидрологические процессы.

Русло реки Луга отличается извилистой формой с многочисленными изгибами и меандрами. Берега в основном низменные, поросшие лесом или заболоченные. На отдельных участках русла наблюдаются песчаные и глинистые отложения, которые определяют структуру речного дна.

Район, где расположена Луга, имеет умеренно-континентальный климат. Зимы здесь холодные, а лето теплое. Среднегодовая температура колеблется в диапазоне  $+3...+5^{\circ}\text{C}$ . Осадки распределены равномерно на протяжении года, обеспечивая стабильное питание водоемов за счет дождя и снега.

Экологическая обстановка реки Луга постепенно ухудшается из-за возрастающего антропогенного воздействия. Строительство гидротехнических сооружений, сельскохозяйственная деятельность и промышленное использование ресурсов изменяют естественный гидрологический режим реки и ухудшают качество окружающей среды.

Река Луга играет важную роль в жизни региона. Она обеспечивает водоснабжение населенных пунктов, поддерживает местную экосистему и используется для судоходства на определенных участках. Кроме того, бассейн реки является ценным природным объектом с богатым биоразнообразием.



Луга – это не просто гидрологический объект, но и значимая часть природного наследия региона. Ее уникальные природные особенности требуют внимательного мониторинга и охраны для поддержания экологического равновесия и обеспечения устойчивого развития территории.

В качестве исходных данных использовались ежедневные уровни воды на восьми постах Луги и ее бассейна за 2022 год, взятые с сайта АИС ГМВО.

Таблица 1.1 – Фрагмент таблицы действующих гидрологических постов с  
АИС ГМВО

Водохозяйственный участок	Наименование водного объекта	Код водного объекта	Наименование поста	Код поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, кв.км.	Отметка нуля поста		Период действия, число, месяц, год	
							высота, м	система высот	открыт	закрыт
Луга от истока до в/п Толмачево	ЛУГА	010300005121020 00025583 / 102002558	Р.ЛУГА - Г.ЛУГА	72566	222	2330	35.08	БС	30.09.1934	Действует
	ЛУГА	010300005121020 00025583 / 102002558	Р.ЛУГА - СТ.ТОЛМАЧЁВО	72569	182	6350	30.9	БС	14.04.1916	Действует
	ОРЕДЕЖ	010300005121020 00025828 / 102002582	Р.ОРЕДЕЖ - Д.ЧИКИНО	72585	177	453	91.11	БС	01.04.1952	Действует
	ОРЕДЕЖ	010300005121020 00025828 / 102002582	Р.ОРЕДЕЖ - ПГТ ВЫРИЦА	72588	124	920	50.85	БС	04.08.1935	Действует
	Орлинка	010300005121020 00025859 / 102002585	Р.ОРЛИНКА - УРОЧ.ОРЛИНКА	72592	2.3	206	65.12	БС	09.02.1954	Действует
Луга от в/п Толмачево до устья	ЛУГА	010300006121020 00025583 / 102002558	Р.ЛУГА - Г.КИНГИСЕПП	72577	60	12800	-0.06	БС	28.12.1932	Действует
	Ящера	010300006121020 00026060 / 102002606	Р.ЯЩЕРА - Д.ДОЛГОВКА	72603	18	581	42.72	БС	01.01.1949	Действует
	Вруда	010300006121020 00026404 / 102002640	Р.ВРУДА - Д.ИЗВОЗ	72610	17	544	54	БС	22.03.1955	Действует

Таблица 1.2 – Ежедневные уровни воды (см) р. Луга – г. Луга за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	114 ^БZ	92 Z	150 )	210 )	275 ^	53 T	57 T	69 T	74 ^T	54 A	26 ^A	18 *)
2	110 ЪZ	92 Z	154 )	219 )	262	51 T	57 T	77 T	73 T	53 A	24 A	31 Ъ)
3	106 Z	91 Z	157 )	222 )	251	50 T	56 T	77 T	73 T	54 A	23 A	32 Ъ)
4	106 Z	90 Z	159 )	226 )	236	49 T	57 T	77 T	73 T	57 ^A	23 A	19 Ъ)
5	105 Z	89 Z	160 )	228 )	225	49 T	57 T	78 T	72 T	57 ^A	23 A	18 )
6	105 Z	86 Z	159 )	223 )	213	48 T	58 T	80 T	72 T	57 ^A	24 A	17 )
7	104 Z	84 Z	158 )	219 )	200	48 T	57 T	84 T	71 T	54 A	24 A	17 )
8	102 Z	84 Z	156 )	224 )	188	48 T	57 T	85 T	70 T	52 A	24 A	17 )
9	103 Z	83 )	160 )	232 X	176	48 T	57 T	86 ^T	70 T	49 A	24 A	16 )
10	101 Z	82 )	160 )	245 X	164	48 T	58 T	86 ^T	69 T	47 A	24 A	16 )
11	99 I	79 )	159 )	260	158	48 T	58 T	85 T	69 A	43 A	24 A	14 )
12	94 I	75 )	156 )	280	148 T	48 T	60 T	83 T	68 A	41 A	24 A	41 ^Б*
13	97 I	74 )	141 )	296	139 T	49 T	63 T	78 T	67 A	41 A	24 A	35 ^Б)
14	99 Z	74 )	127 )	316	131 T	50 T	66 T	77 T	65 A	41 A	24 A	22 Ъ)
15	96 Z	73 )	117 )	329	124 T	55 T	67 T	77 T	65 A	40 A	24 A	19 Ъ)
16	95 Z	76 )	116 )	338	116 T	59 T	70 T	76 T	65 A	40 A	24 A	18 )
17	95 Z	81 )	114 )	345	109 T	60 T	72 T	75 T	65 A	39 A	24 A	18 )
18	94 Z	87 )	116 )	350 ^	104 T	61 ^T	73 ^T	73 T	65 A	37 A	24 A	17 )
19	95 Z	94 )	114 )	349 ^	99 T	60 T	72 T	72 T	65 A	34 A	25 A	16 )
20	95 Z	99 )	105 )	345	94 T	60 T	71 T	71 T	66 A	33 A	24 A	16 )
21	95 Z	103 )	101 )	341	90 T	60 T	70 T	71 T	67 A	32 A	24 A	15 )
22	94 Z	108 )	101 )	335	84 T	59 T	69 T	71 T	67 A	31 A	24 A	20 )
23	94 Z	113 )	103 )	328	79 T	58 T	67 T	71 T	67 A	28 A	24 A	21 )
24	94 Z	116 )	108 )	321	76 T	57 T	66 T	71 T	65 A	26 A	23 A	21 )
25	94 Z	124 )	114 )	313	70 T	57 T	66 T	71 T	62 A	25 A	22 A	21 )
26	93 Z	133 )	135 )	307	63 T	57 T	66 T	70 T	61 A	25 A	21 A	19 )
27	93 Z	140 )	153 )	298	59 T	57 T	65 T	70 T	59 A	24 A	20 )	18 )
28	92 Z	146 ^)	159 )	292	59 T	57 T	65 T	70 T	59 A	24 A	20 )	18 )
29	92 Z		177 )	287	55 T	57 T	66 T	70 T	58 A	27 A	20 )	18 )
30	92 Z	-	192 )	281	53 T	57 T	66 T	70 T	55 A	27 A	20 )	19 )
31	92 Z	-	201 ^)	-	54 T	-	66 T	72 T	-	26 A	-	21 )
Декада												
1												
2												
3												
Средний	98	95	141	285	134	54	64	76	67	39	23	20
Выший	115	147	202	350	276	61	73	86	74	57	26	41
Низший	91	73	100	207	53	47	56	66	55	23	20	13

Таблица 1.3 – Ежедневные уровни воды (см) р. Луга – ст. Толмачево за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	163 ^Z	161 I	240 Z	246 ): 407 ^	97 ^T	47 ^T	36 T	35 T	49 A	67 A	103 Б*	
2	163 ^Z	162 I	242 Z	251 ): 391	94 T	44 T	41 T	35 A	48 A	69 A	112 ^Б*	
3	162 Z	162 I	244 Z	255 ) 372	90 T	42 T	41 T	35 A	50 A	74 A	106 Б*	
4	162 Z	161 I	246 ^Z	256 ) 352	88 T	41 T	40 T	35 A	54 A	77 A	101 Б*	
5	162 Z	161 I	244 Z	256 ) 332	87 T	39 T	40 T	36 A	56 A	78 A	102 Б*	
6	161 Z	161 I	242 Z	255 ) 312	85 T	37 T	42 T	36 A	57 A	80 A	100 Б)	
7	161 Z	163 I	239 Z	254 ) 291 T	82 T	37 T	47 T	37 A	58 A	82 A	98 Б*	
8	162 I	165 I	233 Z	255 ) 269 T	80 T	36 T	49 T	38 A	60 A	83 A	96 Б)	
9	163 ^I	167 I	214 Z	262 ) 250 T	77 T	36 T	54 ^T	39 A	63 A	82 A	95 )	
10	163 ^I	169 I	200 Z	287 233 T	75 T	36 T	54 ^T	40 A	65 A	83 A	95 )	
11	163 ^I	170 I	200 Z	312 220 T	73 T	36 T	54 ^T	41 A	66 A	83 A	95 )	
12	162 I	170 I	201 Z	340 207 T	70 T	37 T	54 ^T	41 A	67 ^A	84 A	95 )	
13	162 I	170 I	218 Z	369 197 T	68 T	38 T	54 ^T	40 A	67 ^A	85 A	94 )	
14	161 I	170 I	218 Z	397 187 T	66 T	39 T	53 T	39 A	67 ^A	87 A	91 )	
15	161 I	173 I	215 Z	421 177 T	68 T	40 T	53 T	39 A	66 A	89 A	92 Z	
16	160 I	176 I	207 ) 442	172 T	70 T	39 T	52 T	38 A	65 A	91 A	93 Z	
17	160 I	179 I	199 ) 459	167 T	70 T	39 T	51 T	38 A	65 A	92 A	92 Z	
18	159 I	181 I	192 X) 471	161 T	69 T	40 T	49 T	38 A	64 A	94 A	92 Z	
19	159 I	183 I	185 X) 479	154 T	69 T	39 T	48 T	38 A	64 A	95 A	91 Z	
20	159 I	185 I	175 ) 484 ^	150 T	69 T	40 T	47 T	39 A	64 A	94 A	89 Z	
21	159 I	196 Z	165 ) 484 ^	145 T	67 T	39 T	44 T	40 A	63 A	94 A	89 Z	
22	158 I	210 Z	158 ) 484 ^	139 T	66 T	38 T	42 T	40 A	63 A	93 A	88 Z	
23	158 I	222 Z	156 ) 483 ^	134 T	64 T	38 T	41 T	42 A	63 A	92 )	89 Z	
24	158 I	226 Z	156 ) 479	129 T	61 T	37 T	41 T	44 A	62 A	90 )	92 Z	
25	159 I	231 Z	157 ) 471	124 T	59 T	38 T	40 T	46 A	62 A	89 )	94 Z	
26	160 I	235 Z	167 ) 463	118 T	57 T	38 T	39 T	48 A	61 A	93 Б*	95 Z	
27	160 I	238 Z	183 ) 455	114 T	56 T	37 T	38 T	49 A	62 A	92 Б*	95 Z	
28	160 I	240 ^Z	196 ) 445	109 T	54 T	37 T	37 T	50 ^A	62 A	100 Б*	96 Z	
29	159 I		214 ) 434	106 T	52 T	36 T	36 T	50 ^A	62 A	105 ^Б*	95 Z	
30	159 I	-	236 ): 420	102 T	50 T	36 T	36 T	49 A	63 A	103 Б*	96 Z	
31	159 I	-	238 )	-	99 T	-	36 T	36 T	-	65 A	-	97 Z
Декада												
1												
2												
3												
Средний	161	185	206	379	204	71	38	45	41	61	87	95
Высший	163	240	246	484	411	97	48	54	50	67	105	113
Низший	157	160	156	244	98	49	35	35	35	48	66	88

Таблица 1.4 – Ежедневные уровни воды (см) р. Оредеж – д. Чикино за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	67 )Я	63 )Я	75 )Я	79 Я	97	98 ЯТ	109 ЯТ	110 ЯТ	123 ^ЯТ	82 ЯА	81 ЯА	59 )Я
2	67 )Я	64 )Я	70 )Я	80 Я	92	98 ЯТ	107 ЯТ	117 ЯТ	120 ЯТ	82 ЯА	80 ЯА	58 )Я
3	61 )Я	64 )Я	64 )Я	78 Я	76	98 ЯТ	104 ЯТ	117 ЯТ	105 ЯТ	82 ЯА	80 ЯА	58 )Я
4	42 )Я	64 )Я	64 )Я	69 Я	85	97 ЯТ	103 ЯТ	117 ЯТ	97 ЯТ	83 ЯА	80 ЯА	58 )Я
5	37 )Я	64 )Я	65 )Я	68 Я	90	96 ЯТ	103 ЯТ	117 ЯТ	97 ЯТ	84 ЯА	79 ЯА	58 )Я
6	37 )Я	64 )Я	65 )Я	68 Я	93	96 ЯТ	105 ЯТ	118 ЯТ	97 ЯТ	86 ЯА	79 ЯА	58 )Я
7	37 )Я	64 )Я	65 )Я	71 Я	95 Я	96 ЯТ	106 ЯТ	118 ЯТ	98 ЯТ	89 ^ЯА	79 ЯА	58 )Я
8	37 )Я	64 )Я	64 )Я	81	93 ЯТ	97 ЯТ	107 ЯТ	118 ЯТ	98 ЯТ	90 ^ЯА	79 ЯА	58 )Я
9	37 )Я	64 )Я	64 )Я	83	94 ЯТ	98 ЯТ	110 ЯТ	118 ЯТ	106 ЯТ	89 ^ЯА	79 ЯА	58 )Я
10	37 )Я	64 )Я	61 )Я	85	94 ЯТ	98 ЯТ	113 ЯТ	122 ^ЯТ	108 ЯТ	89 ЯА	79 ЯА	58 )Я
11	37 )Я	64 )Я	58 )Я	89	92 ЯТ	99 ЯТ	114 ЯТ	123 ^ЯТ	100 ЯТ	88 ЯА	79 ЯА	58 )Я
12	37 )Я	64 )Я	61 )Я	105	91 ЯТ	100 ЯТ	118 ЯТ	123 ^ЯТ	93 ЯТ	87 ЯА	79 ЯА	60 )Я
13	37 )Я	63 )Я	64 Я	114	92 ЯТ	100 ЯТ	121 ЯТ	121 ^ЯТ	95 ЯТ	80 ЯА	79 ЯА	60 )Я
14	37 )Я	62 )Я	64 Я	122	94 ЯТ	100 ЯТ	118 ЯТ	113 ЯТ	102 ЯТ	76 ЯА	79 ЯА	60 )Я
15	37 )Я	62 )Я	64 Я	128	95 ЯТ	104 ЯТ	106 ЯТ	112 ЯТ	112 ЯТ	77 ЯА	79 ЯА	60 )Я
16	37 )Я	62 )Я	64 Я	121	95 ЯТ	109 ^ЯТ	109 ЯТ	112 ЯТ	106 ЯТ	77 ЯА	79 ЯА	60 )Я
17	42 )Я	62 )Я	62 Я	114	95 ЯТ	110 ^ЯТ	110 ЯТ	113 ЯТ	90 ЯТ	77 ЯА	86 ^ЯА	60 )Я
18	64 ^Я	62 )Я	60 Я	115	93 ЯТ	107 ^ЯТ	110 ЯТ	113 ЯТ	87 ЯТ	77 ЯА	90 ^ЯА	60 )Я
19	74 ^Я	62 )Я	60 Я	118	92 ЯТ	106 ЯТ	113 ЯТ	105 ЯТ	87 ЯТ	77 ЯА	86 ^ЯА	60 )Я
20	74 ^Я	62 )Я	60 Я	123	90 ЯТ	106 ЯТ	122 ^ЯТ	103 ЯТ	87 ЯТ	77 ЯА	79 ЯА	60 )Я
21	74 ^Я	64 )Я	60 Я	134	91 ЯТ	106 ЯТ	120 ЯТ	103 ЯТ	103 ЯТ	77 ЯА	79 ЯА	60 )Я
22	74 ^Я	71 )Я	61 Я	140 ^	94 ЯТ	106 ЯТ	116 ЯТ	103 ЯТ	100 ЯТ	76 ЯА	79 ЯА	60 )Я
23	74 ^Я	72 )Я	61 Я	137 ^	94 ЯТ	105 ЯТ	115 ЯТ	103 ЯТ	97 ЯТ	76 ЯА	75 ЯА	61 )Я
24	74 ^Я	72 )Я	62 Я	125	95 ЯТ	105 ЯТ	115 ЯТ	103 ЯТ	97 ЯТ	76 ЯА	63 ЯА	61 )Я
25	74 ^Я	71 )Я	63 Я	125	96 ЯТ	105 ЯТ	115 ЯТ	103 ЯТ	97 ЯТ	76 ЯА	61 ЯА	61 )Я
26	74 ^Я	73 ^Я	66 Я	128	96 ЯТ	106 ЯТ	114 ЯТ	103 ЯТ	91 ЯА	76 ЯА	61 )Я	61 )Я
27	74 ^Я	75 ^Я	75 Я	121	96 ЯТ	106 ЯТ	110 ЯТ	103 ЯТ	83 ЯА	76 ЯА	60 )Я	61 )Я
28	74 ^Я	75 ^Я	79 ^Я	116	95 ЯТ	106 ЯТ	110 ЯТ	103 ЯТ	82 ЯА	77 ЯА	60 )Я	61 )Я
29	74 ^Я		81 ^Я	104	96 ЯТ	106 ЯТ	110 ЯТ	103 ЯТ	82 ЯА	82 ЯА	60 )Я	62 )Я
30	74 ^Я	-	81 ^Я	100	97 ^ЯТ	107 ЯТ	110 ЯТ	103 ЯТ	82 ЯА	82 ЯА	60 )Я	67 ^Я
31	67 ^Я	-	80 ^Я	-	98 ^ЯТ	-	110 ЯТ	114 ^ЯТ	-	82 ЯА	-	68 ^Я
Декада												
1												
2												
3												
Средний	56	66	66	105	93	102	111	111	97	81	76	60
Высший	74	75	81	141	98	110	126	123	123	90	90	68
Низший	37	62	58	68	72	96	103	103	82	76	60	58

Таблица 1.5 – Ежедневные уровни воды (см) р. Оредеж – пгт. Вырица за 2022

Г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	174 )	170 )	180 )	187 )	218 ^	158 T	188 T	178 T	170 T	142 T	145 A	145 )
2	174 )	170 )	172 )	180 )	209	165 T	196 T	183 T	175 ^T	144 T	147 A	145 )
3	172 )	169 )	163 )	180 )	202	165 T	203 T	183 T	170 T	148 A	150 A	143 )
4	172 )	167 )	158 )	175 )	193	165 T	207 T	183 T	162 T	146 A	150 A	143 )
5	171 )	165 )	173 )	175 )	181	165 T	210 ^T	183 T	159 T	147 A	147 A	144 )
6	170 )	164 )	173 )	166 )	175	165 T	208 ^T	183 T	156 T	150 A	149 A	145 )
7	170 )	162 )	173 )	158 )	165 T	165 T	205 T	185 T	150 T	150 A	152 A	144 )
8	170 )	160 )	165 )	159	165 T	165 T	203 T	186 T	139 T	150 A	152 A	143 )
9	170 )	160 )	165 )	162	165 T	168 T	200 T	187 T	135 T	152 ^A	156 A	143 )
10	170 )	160 )	163 )	162	165 T	170 T	200 T	189 T	135 T	150 A	156 A	140 )
11	170 )	160 )	160 )	265	175 T	171 T	204 T	190 T	135 T	150 A	158 A	140 )
12	170 )	160 )	160 )	266	175 T	172 T	205 T	194 T	140 T	149 A	158 A	140 )
13	170 )	159 )	155 )	269	175 T	172 T	206 T	195 T	140 T	147 A	159 ^A	143 )
14	174 )	158 )	150 )	303 ^	175 T	173 T	205 T	197 ^T	145 T	145 A	160 ^A	143 )
15	174 )	160 )	155 )	303 ^	173 T	173 T	205 T	194 T	145 T	143 A	160 ^A	144 )
16	174 )	159 )	162 )	303 ^	165 T	174 T	205 T	192 T	146 T	140 A	160 ^A	144 )
17	175 )	158 )	165 )	302 ^	165 T	175 T	207 T	189 T	150 T	145 A	158 A	140 )
18	175 )	158 )	167 )	292	165 T	175 T	208 T	187 T	155 T	145 A	158 A	140 )
19	175 )	158 )	167 )	287	165 T	178 T	209 T	186 T	155 T	146 A	159 ^A	140 )
20	175 )	158 )	170 )	287	165 T	180 T	210 ^T	185 T	157 T	147 A	160 ^A	140 )
21	176 ^)	159 )	160 )	285	163 T	180 T	210 ^T	189 T	159 T	147 A	157 A	139 )
22	176 ^)	162 )	163 )	285	163 T	180 T	210 ^T	189 T	158 T	146 A	155 A	135 )
23	176 ^)	169 )	150 )	280	160 T	180 T	210 ^T	185 T	155 T	148 A	152 A	132 )
24	176 ^)	173 )	150 )	280	160 T	181 T	207 ^T	185 T	150 T	149 A	150 A	130 )
25	176 ^)	165 )	150 )	295	160 T	182 T	200 T	183 T	152 T	150 A	147 )	138 )
26	174 )	167 )	154 )	294	160 T	183 T	193 T	180 T	149 T	149 A	147 )	145 )
27	174 )	173 )	166 )	287	158 T	186 T	188 T	177 T	147 T	147 A	146 )	145 )
28	174 )	180 ^)	180 )	264	158 T	187 ^T	180 T	174 T	146 T	146 A	145 )	145 )
29	174 )		185 )	235	158 T	188 ^T	175 T	174 T	145 T	145 A	145 )	145 )
30	174 )	-	187 ^)	223	158 T	188 ^T	175 T	172 T	145 T	145 A	145 )	147 )
31	174 )	-	184 ^)	-	158 T	-	175 T	170 T	-	145 A	-	150 ^)
Декада												
1												
2												
3												
Средний	173	164	165	244	171	174	200	185	151	147	153	142
Высший	176	180	187	303	220	188	210	197	175	152	160	150
Низший	170	158	150	158	158	158	175	170	135	140	145	130

Таблица 1.6 – Ежедневные уровни воды (см) р. Орлинка – уроч. Орлинка за  
2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	101 Ъ)	80 Z	87 )	98 )	118 ^	81 T	76 T	83 T	75 T	77 T	84 A	82 )
2	102 ^Ъ)	78 Z	87 )	96 )	115	80 T	75 T	83 T	81 T	76 A	83 A	84 Ъ)
3	101 ^Ъ)	77 Z	89 )	96 )	114	82 T	74 T	84 T	83 T	76 A	82 A	86 Ъ)
4	99 Ъ)	79 Z	90 )	98 )	115	79 T	75 T	85 T	85 ^T	80 A	84 A	86 Ъ)
5	96 )	82 Z	90 )	103 )	111	80 T	75 T	86 T	86 ^T	83 A	82 A	90 Ъ)
6	95 Ъ)	81 Z	92 )	106 )	111	83 T	77 T	85 T	83 T	87 A	80 A	95 Ъ)
7	97 Ъ)	79 Z	90 )	109 )	113	82 T	78 T	87 T	84 T	87 A	81 A	96 Ъ)
8	97 ЪZ	82 Z	89 )	116	110	81 T	79 T	90 ^T	81 T	87 A	79 A	98 Ъ)
9	96 ЪZ	80 Z	86 )	119	108	81 T	78 T	88 T	79 T	84 A	79 A	103 Ъ)
10	94 ЪZ	81 Z	85 )	122	106	81 T	78 T	85 T	80 T	83 A	76 A	102 Ъ)
11	91 ЪZ	80 Z	86 )	130	105 T	79 T	78 T	82 T	81 T	85 A	77 A	106 Ъ)
12	89 ЪZ	79 Z	90 )	133	101 T	76 T	77 T	82 T	80 T	85 A	78 A	104 Ъ)
13	87 ЪZ	76 Z	92 )	137	100 T	75 T	79 T	81 T	82 T	84 A	78 A	108 ^Ъ)
14	88 Z	78 Z	94 )	139 ^	98 T	78 T	80 T	80 T	82 T	83 A	77 A	107 ^Ъ)
15	88 Z	81 Z	96 )	139 ^	97 T	78 T	80 T	80 T	82 T	82 A	80 A	105 Ъ)
16	84 Z	84 Z	95 )	139 ^	95 T	83 T	82 T	80 T	81 T	84 A	79 A	102 Ъ)
17	82 Z	86 )	96 )	138 ^	96 T	85 ^T	85 T	79 T	84 T	86 A	79 A	100 Ъ)
18	85 Z	89 )	97 )	137	96 T	83 T	86 T	75 T	83 T	87 A	79 A	100 Ъ)
19	83 Z	90 )	98 )	135	96 T	83 T	87 T	73 T	82 T	88 ^A	79 A	96 Ъ)
20	86 Z	91 ^)	101 )	133	95 T	81 T	86 T	74 T	80 T	83 A	77 A	100 Ъ)
21	89 Z	91 ^)	102 )	134	92 T	80 T	84 T	72 T	82 T	81 A	78 A	98 Ъ)
22	87 Z	91 ^)	100 )	133	94 T	81 T	85 T	73 T	81 T	84 A	78 A	96 Ъ)
23	85 Z	89 )	102 )	132	93 T	79 T	84 T	71 T	81 T	84 A	80 A	95 Ъ)
24	84 Z	88 )	105 )	133	92 T	78 T	84 T	74 T	83 T	82 A	81 )	94 Ъ)
25	85 Z	87 )	107 ^)	131	91 T	78 T	85 T	73 T	84 T	82 A	81 )	94 Ъ)
26	82 Z	89 )	106 ^)	125	88 T	77 T	87 ^T	71 T	83 T	80 A	83 )	92 Ъ)
27	83 Z	89 )	105 )	126	86 T	76 T	88 ^T	71 T	82 T	80 A	84 )	93 Ъ)
28	85 Z	88 )	106 ^)	125	85 T	76 T	85 T	72 T	80 T	80 A	85 ^)	91 Ъ)
29	81 Z		105 )	124	86 T	76 T	83 T	72 T	77 T	81 A	83 )	88 )
30	79 Z	-	103 )	124	85 T	75 T	84 T	74 T	79 T	84 A	83 )	89 )
31	79 Z	-	100 )	-	82 T	-	82 T	75 T	-	85 A	-	91 )
Декада												
1												
2												
3												
Средний	89	84	96	124	99	80	81	79	82	83	80	96
Высший	102	91	107	139	120	85	88	90	86	89	85	108
Низший	78	75	85	96	81	74	74	71	73	75	76	82



Таблица 1.7 – Ежедневные уровни воды (см) р. Луга – г. Кингисепп за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	213 ЪZ	190 ЪZ	243 ЪZ	239 Z	285 ^	73	43 T	33 RT	37 RT			
2	211 ЪZ	189 ЪZ	241 ЪZ	234 Z	271	65	42 T	47 RT	33 RT			
3	210 ЪZ	189 ЪZ	243 ЪZ	232 Z	259	73	40 T	44 RT	30 RT			
4	208 ЪZ	188 ЪZ	242 ЪZ	229 Z	254	69	37 T	42 RT	25 RT			
5	209 ЪZ	188 ЪZ	235 ЪZ	233 Z	227	69	33 T	39 RT	21 RT			
6	210 ЪZ	190 ЪZ	231 ЪZ	239 Z	211	64	32 T	49 RT	21 RT			
7	211 ЪZ	193 ЪZ	230 ЪZ	234 Z	198	56	31 T	58 ^RT	19 T			
8	211 ЪZ	194 ЪZ	223 ЪZ	228 XZ	184	52	31 T	58 RT	13 T			
9	209 ЪZ	192 ЪZ	219 ЪZ	281 <Л	173	54	30 T	59 RT	8 T			
10	208 ЪZ	193 ЪZ	213 ЪZ	321 <X	158	57	28 T	57 RT	7 T			
11	211 ЪZ	192 ЪZ	215 ЪZ	327 <X	150	54	35 T	56 RT	7 T			
12	218 ^ЪZ	193 ЪZ	209 ЪZ	326 X)	138	52	33 T	54 RT	7 T			
13	212 ЪZ	194 ЪZ	202 ЪZ	351 )	140	52	27 T	49 RT	8 T			
14	212 ЪZ	196 ЪZ	200 ЪZ	375	131	52	25 T	43 RT	8 T			
15	215 ЪZ	197 ЪZ	196 ЪZ	390	127	86	26 T	37 RT	15 RT			
16	214 ЪZ	198 ЪZ	194 ЪZ	398	123	110	27 T	33 RT	23 RT			
17	215 ЪZ	199 ЪZ	191 ЪZ	402	116	113 ^	27 T	32 RT	29 RT			
18	214 ЪZ	202 ЪZ	188 ЪZ	402	116	111	29 RT	32 RT	38 RT			
19	212 ЪZ	204 ЪZ	184 ЪZ	399	108	106	36 RT	31 RT	39 RT			
20	212 ЪZ	221 ЪZ	180 ЪZ	404	96	100	38 RT	25 RT	50 ^RT			
21	210 ЪZ	238 ЪZ	177 ЪZ	407	89	86	41 RT	25 RT	39 RT			
22	207 ЪZ	242 ЪZ	174 ЪZ	407 ^	87	81	47 ^RT	34 RT	34 RT			
23	205 ЪZ	246 ЪZ	174 ЪZ	398	86	73	44 RT	31 RT	31 RT			
24	202 ЪZ	243 ЪZ	177 Z	380	80	67	35 RT	30 RT	28 RT			
25	200 ЪZ	247 ЪZ	182 Z	365	73	59	30 RT	33 RT	34 RT			
26	196 ЪZ	252 ^ЪZ	196 Z	354	73	55	22 T	27 RT	28 RT			
27	195 ЪZ	246 ЪZ	216 Z	342	77	51	17 T	25 RT	21 RT			
28	195 ЪZ	245 ЪZ	245 ^Z	326	79	45	17 T	24 RT	17 T			
29	196 ЪZ		241 Z	313	80	43	24 T	27 RT	21 T			
30	194 ЪZ	-	245 ^Z	298	78	40	34 RT	24 RT	32 T			
31	192 ЪZ	-	243 Z	-	70	-	33 RT	36 RT	-		-	
Декада												
1												
2												
3												
Средний	207	209	211	328	140	69	32	39	24			
Высший	219	253	249	408	287	119	55	63	52			
Низший	192	187	173	227	69	39	15	20	6			

Таблица 1.8 – Ежедневные уровни воды (см) р. Ящера – д. Долговка за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	75 ЫI	74 I	109 I	128 I	112 ^	55 T	42 T	42 T	44 T	50 A	80 A	59 I
2	73 ЫI	74 I	107 I	119 I	101	54 T	42 T	54 T	46 T	50 A	80 A	57 I
3	72 ЫI	73 I	103 I	113 I	95	53 T	42 T	59 T	46 T	51 A	78 A	56 I
4	71 I	73 I	99 I	108 I	90	52 T	42 T	62 T	46 T	61 A	76 A	56 I
5	72 I	73 I	95 I	106 I	86	52 T	41 T	57 T	45 T	71 A	75 A	55 I
6	73 I	74 I	92 I	107 I	81	51 T	41 T	53 T	45 T	76 A	74 A	55 I
7	73 I	74 I	89 I	108 I	77	51 T	41 T	58 T	45 T	75 A	74 A	54 I
8	73 I	75 I	88 I	134 Z	77	50 T	41 T	60 T	44 T	73 A	73 A	54 I
9	72 I	76 I	82 I	163 JI)	77	49 T	41 T	65 ^T	44 T	70 A	76 A	55 I
10	71 I	77 I	77 I	190	76	48 T	41 T	64 T	44 T	68 A	81 A	55 I
11	71 I	77 I	74 I	210	73 T	48 T	42 T	61 T	44 T	65 A	87 A	55 I
12	70 I	78 I	74 I	225	70 T	47 T	44 T	57 T	43 T	64 A	90 A	55 I
13	71 I	78 I	75 I	237	69 T	47 T	44 T	54 T	43 T	62 A	91 ^A	55 I
14	73 I	79 I	76 I	242 ^	68 T	46 T	46 T	52 T	43 T	60 A	90 A	55 I
15	73 I	79 I	77 I	233	67 T	52 T	47 ^T	51 T	43 T	59 A	88 A	56 I
16	72 I	81 I	77 I	224	66 T	60 T	47 ^T	49 T	43 T	57 A	86 A	56 I
17	75 I	84 I	78 I	214	65 T	68 ^T	46 T	47 T	44 T	59 A	85 A	56 I
18	76 I	89 I	79 I	204	62 T	68 ^T	44 T	45 T	46 T	61 A	83 )	55 I
19	76 I	100 I	80 I	196	60 T	63 T	44 T	44 T	48 T	65 A	82 )	55 I
20	77 I	105 I	80 I	193	58 T	59 T	44 T	43 T	50 T	68 A	79 )	56 I
21	78 ^I	107 I	82 I	191	57 T	57 T	43 T	43 T	52 T	68 A	77 )	57 I
22	77 I	109 I	86 I	187	56 T	55 T	43 T	42 T	53 ^T	68 A	75 )	59 I
23	76 I	110 I	95 I	178	54 T	52 T	42 T	42 T	53 ^T	68 A	73 )	62 I
24	76 I	110 I	101 I	166	53 T	49 T	42 T	42 T	52 T	67 A	70 )	67 I
25	75 I	110 I	105 I	158	52 T	48 T	42 T	42 T	53 ^A	67 A	67 )	71 I
26	74 I	111 ^I	134 I	155	51 T	47 T	42 T	41 T	53 ^A	65 A	64 I	71 I
27	74 I	110 I	144 I	150	50 T	46 T	42 T	41 T	52 A	64 A	62 I	71 I
28	73 I	109 I	146 I	141	50 T	45 T	42 T	41 T	52 A	65 A	61 I	70 I
29	74 I		146 ^I	129	52 T	44 T	41 T	41 T	51 A	69 A	60 I	70 I
30	74 I	-	144 I	117	53 T	43 T	42 T	43 T	51 A	73 A	60 I	70 I
31	74 I	-	141 I	-	55 T	-	42 T	45 T	-	79 ^A	-	72 ^I
Декада												
1												
2												
3												
Средний	74	88	98	168	68	52	43	50	47	65	77	60
Высший	78	111	147	242	112	70	47	65	53	80	91	72
Низший	70	73	74	105	49	43	41	41	43	50	59	54

Таблица 1.9 – Ежедневные уровни воды (см) р. Вруда – д. Извоз за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	74 Ы	79 Ы	97 ЪZ	90 ЪZ	64 ^	48 A	37 A	34 A	30 ^A	24 A	29 Я	46 ЪZ
2	75 Ы	79 Ы	97 ЪZ	87 ЪZ	62	47 A	37 A	38 A	29 A	24 A	27 Я	43 ЪZ
3	74 Ы	78 Ы	97 ЪZ	75 ЪZ	59	46 A	37 A	38 A	28 A	25 A	26 Я	43 ЪZ
4	73 Ы	76 Ы	93 ЪZ	60 Л)	57	45 A	36 A	36 A	28 A	27 A	25 Я	45 ЪZ
5	74 Ы	76 Ы	89 ЪZ	46 X	55	44 A	36 A	34 A	28 A	28 A	25 Я	46 ЪZ
6	79 Ы	79 Ы	88 ЪZ	45 X	53	43 A	36 A	35 A	27 A	27 A	24	46 ЪZ
7	78 Ы	81 Ы	88 ЪZ	48 X	52	42 A	36 A	39 ^A	27 A	27 A	25	43 ЪZ
8	75 Ы	83 Ы	85 ЪZ	57 X	51	41 A	36 A	40 ^A	27 A	26 A	26	42 ЪZ
9	76 Ы	82 Ы	81 ЪZ	67 Я	50	44 A	36 A	37 A	26 A	25 A	30	42 ЪZ
10	81 Ы	84 Ы	80 ЪZ	76 Я	49	45 A	36 A	34 A	26 A	24 A	34	42 ЪZ
11	77 Ы	84 Ы	82 ЪZ	81 Я	48	42 A	38 ^A	32 A	26 A	24 A	37	39 ЪZ
12	73 Ы	83 Ы	83 ЪZ	87 Я	48	40 A	38 ^A	30 A	26 A	24 A	38	37 ЪZ
13	73 Ы	83 Ы	81 ЪZ	91 Я	49	40 A	38 ^A	29 A	26 A	24 A	38	39 ЪZ
14	88 ^Ы	83 Ы	79 ЪZ	93 Я	49	41 A	37 A	28 A	26 A	24 A	36	48 ЪZ
15	91 ^Ы	84 Ы	81 ЪZ	92 Я	48	65 ^A	36 A	28 A	27 A	24 A	34	47 ЪZ
16	87 Ы	83 Ы	80 ЪZ	93 Я	48	86 ^A	36 A	28 A	28 A	24 A	35	46 ЪZ
17	87 Ы	90 ЪZ	80 ЪZ	93 Я	47	79 A	37 ^A	28 A	29 A	25 A	34	48 ЪZ
18	84 Ы	99 ЪZ	78 ЪZ	92 Я	47	68 A	37 ^A	28 A	31 ^A	26 Я	33 )	46 ЪZ
19	83 Ы	103 ЪZ	77 ЪZ	94 Я	47	62 A	37 A	28 A	30 A	27 Я	31 )	46 ЪZ
20	83 Ы	108 ЪZ	77 ЪZ	98	46	57 A	37 A	28 A	29 A	27 Я	32 )	46 ЪZ
21	83 Ы	106 ЪZ	78 ЪZ	101 ^	45	51 A	37 A	28 A	28 A	27 Я	36 Ь*	44 ЪZ
22	80 Ы	108 ЪZ	80 ЪZ	100 ^	44 T	45 A	37 A	28 A	27 A	26 Я	39 Ь*	47 ЪZ
23	78 Ы	111 ^ЪZ	82 ЪZ	95	43 T	41 A	37 A	28 A	26 A	25 Я	42 Ь)	49 ЪZ
24	76 Ы	109 ЪZ	84 ЪZ	87	42 T	39 A	37 A	28 A	25 A	25 Я	44 ЪZ	49 ЪZ
25	76 Ы	107 ЪZ	88 ЪZ	82	41 T	38 A	37 A	29 A	24 A	25 Я	46 ЪZ	50 ЪZ
26	74 Ы	104 ЪZ	95 ЪZ	79	41 T	37 A	36 A	29 A	24 A	25 Я	46 ЪZ	50 ЪZ
27	75 Ы	99 ЪZ	95 ЪZ	75	42 T	37 A	35 A	28 A	24 A	25 Я	47 ЪZ	47 ЪZ
28	77 Ы	97 ЪZ	98 ЪZ	69	46 T	37 A	34 A	28 A	24 A	25 Я	48 ^ЪZ	50 ЪZ
29	77 Ы		100 ^ЪZ	65	52 T	37 A	33 A	28 A	24 A	28 Я	48 ^ЪZ	50 ЪZ
30	75 Ы	-	94 ЪZ	64	51 T	37 A	33 A	29 A	25 A	30 ^Я	47 ЪZ	49 ЪZ
31	78 Ы	-	92 ЪZ	-	49 T	-	33 A	31 A	-	31 ^Я	-	51 ^ЪZ
Декада												
1												
2												
3												
Средний	79	91	86	79	49	47	36	31	27	26	35	46
Высший	95	112	102	102	65	86	38	40	31	31	48	53
Низший	69	75	76	45	41	37	33	28	24	24	24	35

Таблицы, размещенные на сайте АИС ГМВО, копируются в *Excel*, где по формулам в два этапа преобразуются в численные значения одной системы координат (мБС). Для начала по двум формулам таблица очищается от лишних условных обозначений, таких как ледовые явления, наивысшие и низшие уровни воды за месяц, после чего переводятся в метры Балтийской системы в зависимости от нуля графика каждого отдельного поста. В результате этого автоматизированного пересчета, позволяющего бесконечно обновлять необходимые ежедневные данные, были получены следующие таблицы 10-17.

Таблица 1.10 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Луга – г. Луга за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	36.22	36	36.58	37.18	37.83	35.61	35.65	35.77	35.82	35.62	35.34	35.26
2	36.18	36	36.62	37.27	37.7	35.59	35.65	35.85	35.81	35.61	35.32	35.39
3	36.14	35.99	36.65	37.3	37.59	35.58	35.64	35.85	35.81	35.62	35.31	35.4
4	36.14	35.98	36.67	37.34	37.44	35.57	35.65	35.85	35.81	35.65	35.31	35.27
5	36.13	35.97	36.68	37.36	37.33	35.57	35.65	35.86	35.8	35.65	35.31	35.26
6	36.13	35.94	36.67	37.31	37.21	35.56	35.66	35.88	35.8	35.65	35.32	35.25
7	36.12	35.92	36.66	37.27	37.08	35.56	35.65	35.92	35.79	35.62	35.32	35.25
8	36.1	35.92	36.64	37.32	36.96	35.56	35.65	35.93	35.78	35.6	35.32	35.25
9	36.11	35.91	36.68	37.4	36.84	35.56	35.65	35.94	35.78	35.57	35.32	35.24
10	36.09	35.9	36.68	37.53	36.72	35.56	35.66	35.94	35.77	35.55	35.32	35.24
11	36.07	35.87	36.67	37.68	36.66	35.56	35.66	35.93	35.77	35.51	35.32	35.22
12	36.02	35.83	36.64	37.88	36.56	35.56	35.68	35.91	35.76	35.49	35.32	35.49
13	36.05	35.82	36.49	38.04	36.47	35.57	35.71	35.86	35.75	35.49	35.32	35.43
14	36.07	35.82	36.35	38.24	36.39	35.58	35.74	35.85	35.73	35.49	35.32	35.3
15	36.04	35.81	36.25	38.37	36.32	35.63	35.75	35.85	35.73	35.48	35.32	35.27
16	36.03	35.84	36.24	38.46	36.24	35.67	35.78	35.84	35.73	35.48	35.32	35.26
17	36.03	35.89	36.22	38.53	36.17	35.68	35.8	35.83	35.73	35.47	35.32	35.26
18	36.02	35.95	36.24	38.58	36.12	35.69	35.81	35.81	35.73	35.45	35.32	35.25
19	36.03	36.02	36.22	38.57	36.07	35.68	35.8	35.8	35.73	35.42	35.33	35.24
20	36.03	36.07	36.13	38.53	36.02	35.68	35.79	35.79	35.74	35.41	35.32	35.24
21	36.03	36.11	36.09	38.49	35.98	35.68	35.78	35.79	35.75	35.4	35.32	35.23
22	36.02	36.16	36.09	38.43	35.92	35.67	35.77	35.79	35.75	35.39	35.32	35.28
23	36.02	36.21	36.11	38.36	35.87	35.66	35.75	35.79	35.75	35.36	35.32	35.29
24	36.02	36.24	36.16	38.29	35.84	35.65	35.74	35.79	35.73	35.34	35.31	35.29
25	36.02	36.32	36.22	38.21	35.78	35.65	35.74	35.79	35.7	35.33	35.3	35.29
26	36.01	36.41	36.43	38.15	35.71	35.65	35.74	35.78	35.69	35.33	35.29	35.27
27	36.01	36.48	36.61	38.06	35.67	35.65	35.73	35.78	35.67	35.32	35.28	35.26
28	36	36.54	36.67	38	35.67	35.65	35.73	35.78	35.67	35.32	35.28	35.26
29	36		36.85	37.95	35.63	35.65	35.74	35.78	35.66	35.35	35.28	35.26
30	36		37	37.89	35.61	35.65	35.74	35.78	35.63	35.35	35.28	35.27
31	36		37.09		35.62		35.74	35.8		35.34		35.29
Декада												
1												
2												
3												
Средний	98	95	141	285	134	54	64	76	67	39	23	20
Высший	115	147	202	350	276	61	73	86	74	57	26	41
Низший	91	73	100	207	53	47	56	66	55	23	20	13

Таблица 1.11 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Луга – ст. Толмачево за  
2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	32.53	32.51	33.3	33.36	34.97	31.87	31.37	31.26	31.25	31.39	31.57	31.93
2	32.53	32.52	33.32	33.41	34.81	31.84	31.34	31.31	31.25	31.38	31.59	32.02
3	32.52	32.52	33.34	33.45	34.62	31.8	31.32	31.31	31.25	31.4	31.64	31.96
4	32.52	32.51	33.36	33.46	34.42	31.78	31.31	31.3	31.25	31.44	31.67	31.91
5	32.52	32.51	33.34	33.46	34.22	31.77	31.29	31.3	31.26	31.46	31.68	31.92
6	32.51	32.51	33.32	33.45	34.02	31.75	31.27	31.32	31.26	31.47	31.7	31.9
7	32.51	32.53	33.29	33.44	33.81	31.72	31.27	31.37	31.27	31.48	31.72	31.88
8	32.52	32.55	33.23	33.45	33.59	31.7	31.26	31.39	31.28	31.5	31.73	31.86
9	32.53	32.57	33.04	33.52	33.4	31.67	31.26	31.44	31.29	31.53	31.72	31.85
10	32.53	32.59	32.9	33.77	33.23	31.65	31.26	31.44	31.3	31.55	31.73	31.85
11	32.53	32.6	32.9	34.02	33.1	31.63	31.26	31.44	31.31	31.56	31.73	31.85
12	32.52	32.6	32.91	34.3	32.97	31.6	31.27	31.44	31.31	31.57	31.74	31.85
13	32.52	32.6	33.08	34.59	32.87	31.58	31.28	31.44	31.3	31.57	31.75	31.84
14	32.51	32.6	33.08	34.87	32.77	31.56	31.29	31.43	31.29	31.57	31.77	31.81
15	32.51	32.63	33.05	35.11	32.67	31.58	31.3	31.43	31.29	31.56	31.79	31.82
16	32.5	32.66	32.97	35.32	32.62	31.6	31.29	31.42	31.28	31.55	31.81	31.83
17	32.5	32.69	32.89	35.49	32.57	31.6	31.29	31.41	31.28	31.55	31.82	31.82
18	32.49	32.71	32.82	35.61	32.51	31.59	31.3	31.39	31.28	31.54	31.84	31.82
19	32.49	32.73	32.75	35.69	32.44	31.59	31.29	31.38	31.28	31.54	31.85	31.81
20	32.49	32.75	32.65	35.74	32.4	31.59	31.3	31.37	31.29	31.54	31.84	31.79
21	32.49	32.86	32.55	35.74	32.35	31.57	31.29	31.34	31.3	31.53	31.84	31.79
22	32.48	33	32.48	35.74	32.29	31.56	31.28	31.32	31.3	31.53	31.83	31.78
23	32.48	33.12	32.46	35.73	32.24	31.54	31.28	31.31	31.32	31.53	31.82	31.79
24	32.48	33.16	32.46	35.69	32.19	31.51	31.27	31.31	31.34	31.52	31.8	31.82
25	32.49	33.21	32.47	35.61	32.14	31.49	31.28	31.3	31.36	31.52	31.79	31.84
26	32.5	33.25	32.57	35.53	32.08	31.47	31.28	31.29	31.38	31.51	31.83	31.85
27	32.5	33.28	32.73	35.45	32.04	31.46	31.27	31.28	31.39	31.52	31.82	31.85
28	32.5	33.3	32.86	35.35	31.99	31.44	31.27	31.27	31.4	31.52	31.9	31.86
29	32.49		33.04	35.24	31.96	31.42	31.26	31.26	31.4	31.52	31.95	31.85
30	32.49		33.26	35.1	31.92	31.4	31.26	31.26	31.39	31.53	31.93	31.86
31	32.49		33.28		31.89		31.26	31.26		31.55		31.87
Декада												
1												
2												
3												
Средний	161	185	206	379	204	71	38	45	41	61	87	95
Высший	163	240	246	484	411	97	48	54	50	67	105	113
Низший	157	160	156	244	98	49	35	35	35	48	66	88

Таблица 1.12 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Оредеж – д. Чикино за  
2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	91.78	91.74	91.86	91.9	92.08	92.09	92.2	92.21	92.34	91.93	91.92	91.7
2	91.78	91.75	91.81	91.91	92.03	92.09	92.18	92.28	92.31	91.93	91.91	91.69
3	91.72	91.75	91.75	91.89	91.87	92.09	92.15	92.28	92.16	91.93	91.91	91.69
4	91.53	91.75	91.75	91.8	91.96	92.08	92.14	92.28	92.08	91.94	91.91	91.69
5	91.48	91.75	91.76	91.79	92.01	92.07	92.14	92.28	92.08	91.95	91.9	91.69
6	91.48	91.75	91.76	91.79	92.04	92.07	92.16	92.29	92.08	91.97	91.9	91.69
7	91.48	91.75	91.76	91.82	92.06	92.07	92.17	92.29	92.09	92	91.9	91.69
8	91.48	91.75	91.75	91.92	92.04	92.08	92.18	92.29	92.09	92.01	91.9	91.69
9	91.48	91.75	91.75	91.94	92.05	92.09	92.21	92.29	92.17	92	91.9	91.69
10	91.48	91.75	91.72	91.96	92.05	92.09	92.24	92.33	92.19	92	91.9	91.69
11	91.48	91.75	91.69	92	92.03	92.1	92.25	92.34	92.11	91.99	91.9	91.69
12	91.48	91.75	91.72	92.16	92.02	92.11	92.29	92.34	92.04	91.98	91.9	91.71
13	91.48	91.74	91.75	92.25	92.03	92.11	92.32	92.32	92.06	91.91	91.9	91.71
14	91.48	91.73	91.75	92.33	92.05	92.11	92.29	92.24	92.13	91.87	91.9	91.71
15	91.48	91.73	91.75	92.39	92.06	92.15	92.17	92.23	92.23	91.88	91.9	91.71
16	91.48	91.73	91.75	92.32	92.06	92.2	92.2	92.23	92.17	91.88	91.9	91.71
17	91.53	91.73	91.73	92.25	92.06	92.21	92.21	92.24	92.01	91.88	91.97	91.71
18	91.75	91.73	91.71	92.26	92.04	92.18	92.21	92.24	91.98	91.88	92.01	91.71
19	91.85	91.73	91.71	92.29	92.03	92.17	92.24	92.16	91.98	91.88	91.97	91.71
20	91.85	91.73	91.71	92.34	92.01	92.17	92.33	92.14	91.98	91.88	91.9	91.71
21	91.85	91.75	91.71	92.45	92.02	92.17	92.31	92.14	92.14	91.88	91.9	91.71
22	91.85	91.82	91.72	92.51	92.05	92.17	92.27	92.14	92.11	91.87	91.9	91.71
23	91.85	91.83	91.72	92.48	92.05	92.16	92.26	92.14	92.08	91.87	91.86	91.72
24	91.85	91.83	91.73	92.36	92.06	92.16	92.26	92.14	92.08	91.87	91.74	91.72
25	91.85	91.82	91.74	92.36	92.07	92.16	92.26	92.14	92.08	91.87	91.72	91.72
26	91.85	91.84	91.77	92.39	92.07	92.17	92.25	92.14	92.02	91.87	91.72	91.72
27	91.85	91.86	91.86	92.32	92.07	92.17	92.21	92.14	91.94	91.87	91.71	91.72
28	91.85	91.86	91.9	92.27	92.06	92.17	92.21	92.14	91.93	91.88	91.71	91.72
29	91.85		91.92	92.15	92.07	92.17	92.21	92.14	91.93	91.93	91.71	91.73
30	91.85		91.92	92.11	92.08	92.18	92.21	92.14	91.93	91.93	91.71	91.78
31	91.78		91.91		92.09		92.21	92.25		91.93		91.79
Декада												
1												
2												
3												
Средний	56	66	66	105	93	102	111	111	97	81	76	60
Высший	74	75	81	141	98	110	126	123	123	90	90	68
Низший	37	62	58	68	72	96	103	103	82	76	60	58



Таблица 1.13 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Оредеж – пгт. Вырица за  
2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	52.59	52.55	52.65	52.72	53.03	52.43	52.73	52.63	52.55	52.27	52.3	52.3
2	52.59	52.55	52.57	52.65	52.94	52.5	52.81	52.68	52.6	52.29	52.32	52.3
3	52.57	52.54	52.48	52.65	52.87	52.5	52.88	52.68	52.55	52.33	52.35	52.28
4	52.57	52.52	52.43	52.6	52.78	52.5	52.92	52.68	52.47	52.31	52.35	52.28
5	52.56	52.5	52.58	52.6	52.66	52.5	52.95	52.68	52.44	52.32	52.32	52.29
6	52.55	52.49	52.58	52.51	52.6	52.5	52.93	52.68	52.41	52.35	52.34	52.3
7	52.55	52.47	52.58	52.43	52.5	52.5	52.9	52.7	52.35	52.35	52.37	52.29
8	52.55	52.45	52.5	52.44	52.5	52.5	52.88	52.71	52.24	52.35	52.37	52.28
9	52.55	52.45	52.5	52.47	52.5	52.53	52.85	52.72	52.2	52.37	52.41	52.28
10	52.55	52.45	52.48	52.47	52.5	52.55	52.85	52.74	52.2	52.35	52.41	52.25
11	52.55	52.45	52.45	53.5	52.6	52.56	52.89	52.75	52.2	52.35	52.43	52.25
12	52.55	52.45	52.45	53.51	52.6	52.57	52.9	52.79	52.25	52.34	52.43	52.25
13	52.55	52.44	52.4	53.54	52.6	52.57	52.91	52.8	52.25	52.32	52.44	52.28
14	52.59	52.43	52.35	53.88	52.6	52.58	52.9	52.82	52.3	52.3	52.45	52.28
15	52.59	52.45	52.4	53.88	52.58	52.58	52.9	52.79	52.3	52.28	52.45	52.29
16	52.59	52.44	52.47	53.88	52.5	52.59	52.9	52.77	52.31	52.25	52.45	52.29
17	52.6	52.43	52.5	53.87	52.5	52.6	52.92	52.74	52.35	52.3	52.43	52.25
18	52.6	52.43	52.52	53.77	52.5	52.6	52.93	52.72	52.4	52.3	52.43	52.25
19	52.6	52.43	52.52	53.72	52.5	52.63	52.94	52.71	52.4	52.31	52.44	52.25
20	52.6	52.43	52.55	53.72	52.5	52.65	52.95	52.7	52.42	52.32	52.45	52.25
21	52.61	52.44	52.45	53.7	52.48	52.65	52.95	52.74	52.44	52.32	52.42	52.24
22	52.61	52.47	52.48	53.7	52.48	52.65	52.95	52.74	52.43	52.31	52.4	52.2
23	52.61	52.54	52.35	53.65	52.45	52.65	52.95	52.7	52.4	52.33	52.37	52.17
24	52.61	52.58	52.35	53.65	52.45	52.66	52.92	52.7	52.35	52.34	52.35	52.15
25	52.61	52.5	52.35	53.8	52.45	52.67	52.85	52.68	52.37	52.35	52.32	52.23
26	52.59	52.52	52.39	53.79	52.45	52.68	52.78	52.65	52.34	52.34	52.32	52.3
27	52.59	52.58	52.51	53.72	52.43	52.71	52.73	52.62	52.32	52.32	52.31	52.3
28	52.59	52.65	52.65	53.49	52.43	52.72	52.65	52.59	52.31	52.31	52.3	52.3
29	52.59		52.7	53.2	52.43	52.73	52.6	52.59	52.3	52.3	52.3	52.3
30	52.59		52.72	53.08	52.43	52.73	52.6	52.57	52.3	52.3	52.3	52.32
31	52.59		52.69		52.43		52.6	52.55		52.3		52.35
Декада												
1												
2												
3												
Средний	173	164	165	244	171	174	200	185	151	147	153	142
Высший	176	180	187	303	220	188	210	197	175	152	160	150
Низший	170	158	150	158	158	158	175	170	135	140	145	130

Таблица 1.14 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Орлинка – уроч. Орлинка  
за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	66.13	65.92	65.99	66.1	66.3	65.93	65.88	65.95	65.87	65.89	65.96	65.94
2	66.14	65.9	65.99	66.08	66.27	65.92	65.87	65.95	65.93	65.88	65.95	65.96
3	66.13	65.89	66.01	66.08	66.26	65.94	65.86	65.96	65.95	65.88	65.94	65.98
4	66.11	65.91	66.02	66.1	66.27	65.91	65.87	65.97	65.97	65.92	65.96	65.98
5	66.08	65.94	66.02	66.15	66.23	65.92	65.87	65.98	65.98	65.95	65.94	66.02
6	66.07	65.93	66.04	66.18	66.23	65.95	65.89	65.97	65.95	65.99	65.92	66.07
7	66.09	65.91	66.02	66.21	66.25	65.94	65.9	65.99	65.96	65.99	65.93	66.08
8	66.09	65.94	66.01	66.28	66.22	65.93	65.91	66.02	65.93	65.99	65.91	66.1
9	66.08	65.92	65.98	66.31	66.2	65.93	65.9	66	65.91	65.96	65.91	66.15
10	66.06	65.93	65.97	66.34	66.18	65.93	65.9	65.97	65.92	65.95	65.88	66.14
11	66.03	65.92	65.98	66.42	66.17	65.91	65.9	65.94	65.93	65.97	65.89	66.18
12	66.01	65.91	66.02	66.45	66.13	65.88	65.89	65.94	65.92	65.97	65.9	66.16
13	65.99	65.88	66.04	66.49	66.12	65.87	65.91	65.93	65.94	65.96	65.9	66.2
14	66	65.9	66.06	66.51	66.1	65.9	65.92	65.92	65.94	65.95	65.89	66.19
15	66	65.93	66.08	66.51	66.09	65.9	65.92	65.92	65.94	65.94	65.92	66.17
16	65.96	65.96	66.07	66.51	66.07	65.95	65.94	65.92	65.93	65.96	65.91	66.14
17	65.94	65.98	66.08	66.5	66.08	65.97	65.97	65.91	65.96	65.98	65.91	66.12
18	65.97	66.01	66.09	66.49	66.08	65.95	65.98	65.87	65.95	65.99	65.91	66.12
19	65.95	66.02	66.1	66.47	66.08	65.95	65.99	65.85	65.94	66	65.91	66.08
20	65.98	66.03	66.13	66.45	66.07	65.93	65.98	65.86	65.92	65.95	65.89	66.12
21	66.01	66.03	66.14	66.46	66.04	65.92	65.96	65.84	65.94	65.93	65.9	66.1
22	65.99	66.03	66.12	66.45	66.06	65.93	65.97	65.85	65.93	65.96	65.9	66.08
23	65.97	66.01	66.14	66.44	66.05	65.91	65.96	65.83	65.93	65.96	65.92	66.07
24	65.96	66	66.17	66.45	66.04	65.9	65.96	65.86	65.95	65.94	65.93	66.06
25	65.97	65.99	66.19	66.43	66.03	65.9	65.97	65.85	65.96	65.94	65.93	66.06
26	65.94	66.01	66.18	66.37	66	65.89	65.99	65.83	65.95	65.92	65.95	66.04
27	65.95	66.01	66.17	66.38	65.98	65.88	66	65.83	65.94	65.92	65.96	66.05
28	65.97	66	66.18	66.37	65.97	65.88	65.97	65.84	65.92	65.92	65.97	66.03
29	65.93		66.17	66.36	65.98	65.88	65.95	65.84	65.89	65.93	65.95	66
30	65.91		66.15	66.36	65.97	65.87	65.96	65.86	65.91	65.96	65.95	66.01
31	65.91		66.12		65.94		65.94	65.87		65.97		66.03
Декада												
1												
2												
3												
Средний	89	84	96	124	99	80	81	79	82	83	80	96
Высший	102	91	107	139	120	85	88	90	86	89	85	108
Низший	78	75	85	96	81	74	74	71	73	75	76	82

Таблица 1.15 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Луга – г. Кингисепп за 2022

Г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.07	1.84	2.37	2.33	2.79	0.67	0.37	0.27	0.31			
2	2.05	1.83	2.35	2.28	2.65	0.59	0.36	0.41	0.27			
3	2.04	1.83	2.37	2.26	2.53	0.67	0.34	0.38	0.24			
4	2.02	1.82	2.36	2.23	2.48	0.63	0.31	0.36	0.19			
5	2.03	1.82	2.29	2.27	2.21	0.63	0.27	0.33	0.15			
6	2.04	1.84	2.25	2.33	2.05	0.58	0.26	0.43	0.15			
7	2.05	1.87	2.24	2.28	1.92	0.5	0.25	0.52	0.13			
8	2.05	1.88	2.17	2.22	1.78	0.46	0.25	0.52	0.07			
9	2.03	1.86	2.13	2.75	1.67	0.48	0.24	0.53	0.02			
10	2.02	1.87	2.07	3.15	1.52	0.51	0.22	0.51	0.01			
11	2.05	1.86	2.09	3.21	1.44	0.48	0.29	0.5	0.01			
12	2.12	1.87	2.03	3.2	1.32	0.46	0.27	0.48	0.01			
13	2.06	1.88	1.96	3.45	1.34	0.46	0.21	0.43	0.02			
14	2.06	1.9	1.94	3.69	1.25	0.46	0.19	0.37	0.02			
15	2.09	1.91	1.9	3.84	1.21	0.8	0.2	0.31	0.09			
16	2.08	1.92	1.88	3.92	1.17	1.04	0.21	0.27	0.17			
17	2.09	1.93	1.85	3.96	1.1	1.07	0.21	0.26	0.23			
18	2.08	1.96	1.82	3.96	1.1	1.05	0.23	0.26	0.32			
19	2.06	1.98	1.78	3.93	1.02	1	0.3	0.25	0.33			
20	2.06	2.15	1.74	3.98	0.9	0.94	0.32	0.19	0.44			
21	2.04	2.32	1.71	4.01	0.83	0.8	0.35	0.19	0.33			
22	2.01	2.36	1.68	4.01	0.81	0.75	0.41	0.28	0.28			
23	1.99	2.4	1.68	3.92	0.8	0.67	0.38	0.25	0.25			
24	1.96	2.37	1.71	3.74	0.74	0.61	0.29	0.24	0.22			
25	1.94	2.41	1.76	3.59	0.67	0.53	0.24	0.27	0.28			
26	1.9	2.46	1.9	3.48	0.67	0.49	0.16	0.21	0.22			
27	1.89	2.4	2.1	3.36	0.71	0.45	0.11	0.19	0.15			
28	1.89	2.39	2.39	3.2	0.73	0.39	0.11	0.18	0.11			
29	1.9		2.35	3.07	0.74	0.37	0.18	0.21	0.15			
30	1.88		2.39	2.92	0.72	0.34	0.28	0.18	0.26			
31	1.86		2.37		0.64		0.27	0.3				
Декада												
1												
2												
3												
Средний	207	209	211	328	140	69	32	39	24			
Высший	219	253	249	408	287	119	55	63	52			
Низший	192	187	173	227	69	39	15	20	6			

Таблица 1.16 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Ящера – д. Долговка за  
2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	54.74	54.79	54.97	54.9	54.64	54.48	54.37	54.34	54.30	54.24	54.29	54.46
2	54.75	54.79	54.97	54.87	54.62	54.47	54.37	54.38	54.29	54.24	54.27	54.43
3	54.74	54.78	54.97	54.75	54.59	54.46	54.37	54.38	54.28	54.25	54.26	54.43
4	54.73	54.76	54.93	54.6	54.57	54.45	54.36	54.36	54.28	54.27	54.25	54.45
5	54.74	54.76	54.89	54.46	54.55	54.44	54.36	54.34	54.28	54.28	54.25	54.46
6	54.79	54.79	54.88	54.45	54.53	54.43	54.36	54.35	54.27	54.27	54.24	54.46
7	54.78	54.81	54.88	54.48	54.52	54.42	54.36	54.39	54.27	54.27	54.25	54.43
8	54.75	54.83	54.85	54.57	54.51	54.41	54.36	54.4	54.27	54.26	54.26	54.42
9	54.76	54.82	54.81	54.67	54.5	54.44	54.36	54.37	54.26	54.25	54.3	54.42
10	54.81	54.84	54.8	54.76	54.49	54.45	54.36	54.34	54.26	54.24	54.34	54.42
11	54.77	54.84	54.82	54.81	54.48	54.42	54.38	54.32	54.26	54.24	54.37	54.39
12	54.73	54.83	54.83	54.87	54.48	54.4	54.38	54.3	54.26	54.24	54.38	54.37
13	54.73	54.83	54.81	54.91	54.49	54.4	54.38	54.29	54.26	54.24	54.38	54.39
14	54.88	54.83	54.79	54.93	54.49	54.41	54.37	54.28	54.26	54.24	54.36	54.48
15	54.91	54.84	54.81	54.92	54.48	54.65	54.36	54.28	54.27	54.24	54.34	54.47
16	54.87	54.83	54.8	54.93	54.48	54.86	54.36	54.28	54.28	54.24	54.35	54.46
17	54.87	54.9	54.8	54.93	54.47	54.79	54.37	54.28	54.29	54.25	54.34	54.48
18	54.84	54.99	54.78	54.92	54.47	54.68	54.37	54.28	54.31	54.26	54.33	54.46
19	54.83	55.03	54.77	54.94	54.47	54.62	54.37	54.28	54.3	54.27	54.31	54.46
20	54.83	55.08	54.77	54.98	54.46	54.57	54.37	54.28	54.29	54.27	54.32	54.46
21	54.83	55.06	54.78	55.01	54.45	54.51	54.37	54.28	54.28	54.27	54.36	54.44
22	54.8	55.08	54.8	55	54.44	54.45	54.37	54.28	54.27	54.26	54.39	54.47
23	54.78	55.11	54.82	54.95	54.43	54.41	54.37	54.28	54.26	54.25	54.42	54.49
24	54.76	55.09	54.84	54.87	54.42	54.39	54.37	54.28	54.25	54.25	54.44	54.49
25	54.76	55.07	54.88	54.82	54.41	54.38	54.37	54.29	54.24	54.25	54.46	54.5
26	54.74	55.04	54.95	54.79	54.41	54.37	54.36	54.29	54.24	54.25	54.46	54.5
27	54.75	54.99	54.95	54.75	54.42	54.37	54.35	54.28	54.24	54.25	54.47	54.47
28	54.77	54.97	54.98	54.69	54.46	54.37	54.34	54.28	54.24	54.25	54.48	54.5
29	54.77		55	54.65	54.52	54.37	54.33	54.28	54.24	54.28	54.48	54.5
30	54.75		54.94	54.64	54.51	54.37	54.33	54.29	54.25	54.3	54.47	54.49
31	54.78		54.92		54.49		54.33	54.31		54.31		54.51
Декада												
1												
2												
3												
Средний	79	91	86	79	49	47	36	31	27	26	35	46
Высший	95	112	102	102	65	86	38	40	31	31	48	53
Низший	69	75	76	45	41	37	33	28	24	24	24	35

Таблица 1.17 – Ежедневные уровни воды (мБС) р. Вруда – д. Извоз за 2022 г.

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	54.74	54.79	54.97	54.9	54.64	54.48	54.37	54.34	54.30	54.24	54.29	54.46
2	54.75	54.79	54.97	54.87	54.62	54.47	54.37	54.38	54.29	54.24	54.27	54.43
3	54.74	54.78	54.97	54.75	54.59	54.46	54.37	54.38	54.28	54.25	54.26	54.43
4	54.73	54.76	54.93	54.6	54.57	54.45	54.36	54.36	54.28	54.27	54.25	54.45
5	54.74	54.76	54.89	54.46	54.55	54.44	54.36	54.34	54.28	54.28	54.25	54.46
6	54.79	54.79	54.88	54.45	54.53	54.43	54.36	54.35	54.27	54.27	54.24	54.46
7	54.78	54.81	54.88	54.48	54.52	54.42	54.36	54.39	54.27	54.27	54.25	54.43
8	54.75	54.83	54.85	54.57	54.51	54.41	54.36	54.4	54.27	54.26	54.26	54.42
9	54.76	54.82	54.81	54.67	54.5	54.44	54.36	54.37	54.26	54.25	54.3	54.42
10	54.81	54.84	54.8	54.76	54.49	54.45	54.36	54.34	54.26	54.24	54.34	54.42
11	54.77	54.84	54.82	54.81	54.48	54.42	54.38	54.32	54.26	54.24	54.37	54.39
12	54.73	54.83	54.83	54.87	54.48	54.4	54.38	54.3	54.26	54.24	54.38	54.37
13	54.73	54.83	54.81	54.91	54.49	54.4	54.38	54.29	54.26	54.24	54.38	54.39
14	54.88	54.83	54.79	54.93	54.49	54.41	54.37	54.28	54.26	54.24	54.36	54.48
15	54.91	54.84	54.81	54.92	54.48	54.65	54.36	54.28	54.27	54.24	54.34	54.47
16	54.87	54.83	54.8	54.93	54.48	54.86	54.36	54.28	54.28	54.24	54.35	54.46
17	54.87	54.9	54.8	54.93	54.47	54.79	54.37	54.28	54.29	54.25	54.34	54.48
18	54.84	54.99	54.78	54.92	54.47	54.68	54.37	54.28	54.31	54.26	54.33	54.46
19	54.83	55.03	54.77	54.94	54.47	54.62	54.37	54.28	54.3	54.27	54.31	54.46
20	54.83	55.08	54.77	54.98	54.46	54.57	54.37	54.28	54.29	54.27	54.32	54.46
21	54.83	55.06	54.78	55.01	54.45	54.51	54.37	54.28	54.28	54.27	54.36	54.44
22	54.8	55.08	54.8	55	54.44	54.45	54.37	54.28	54.27	54.26	54.39	54.47
23	54.78	55.11	54.82	54.95	54.43	54.41	54.37	54.28	54.26	54.25	54.42	54.49
24	54.76	55.09	54.84	54.87	54.42	54.39	54.37	54.28	54.25	54.25	54.44	54.49
25	54.76	55.07	54.88	54.82	54.41	54.38	54.37	54.29	54.24	54.25	54.46	54.5
26	54.74	55.04	54.95	54.79	54.41	54.37	54.36	54.29	54.24	54.25	54.46	54.5
27	54.75	54.99	54.95	54.75	54.42	54.37	54.35	54.28	54.24	54.25	54.47	54.47
28	54.77	54.97	54.98	54.69	54.46	54.37	54.34	54.28	54.24	54.25	54.48	54.5
29	54.77		55	54.65	54.52	54.37	54.33	54.28	54.24	54.28	54.48	54.5
30	54.75		54.94	54.64	54.51	54.37	54.33	54.29	54.25	54.3	54.47	54.49
31	54.78		54.92		54.49		54.33	54.31		54.31		54.51
Декада												
1												
2												
3												
Средний	79	91	86	79	49	47	36	31	27	26	35	46
Высший	95	112	102	102	65	86	38	40	31	31	48	53
Низший	69	75	76	45	41	37	33	28	24	24	24	35

Наиболее понятный человеческому глазу способ визуализации данных для сайта – карта со значениями уровней по постам. Такая карта для бассейна реки Луги была создана в программе *Surfer* (рис. 12). На ней отмечены значения уровней воды на постах за 1 сентября, а также в скобочках значение прироста или падения уровня воды, в сравнении с предыдущим днем (31 августа). Красный цвет текста означает прирост, зеленый – падение, голубой – неизменность уровня воды.

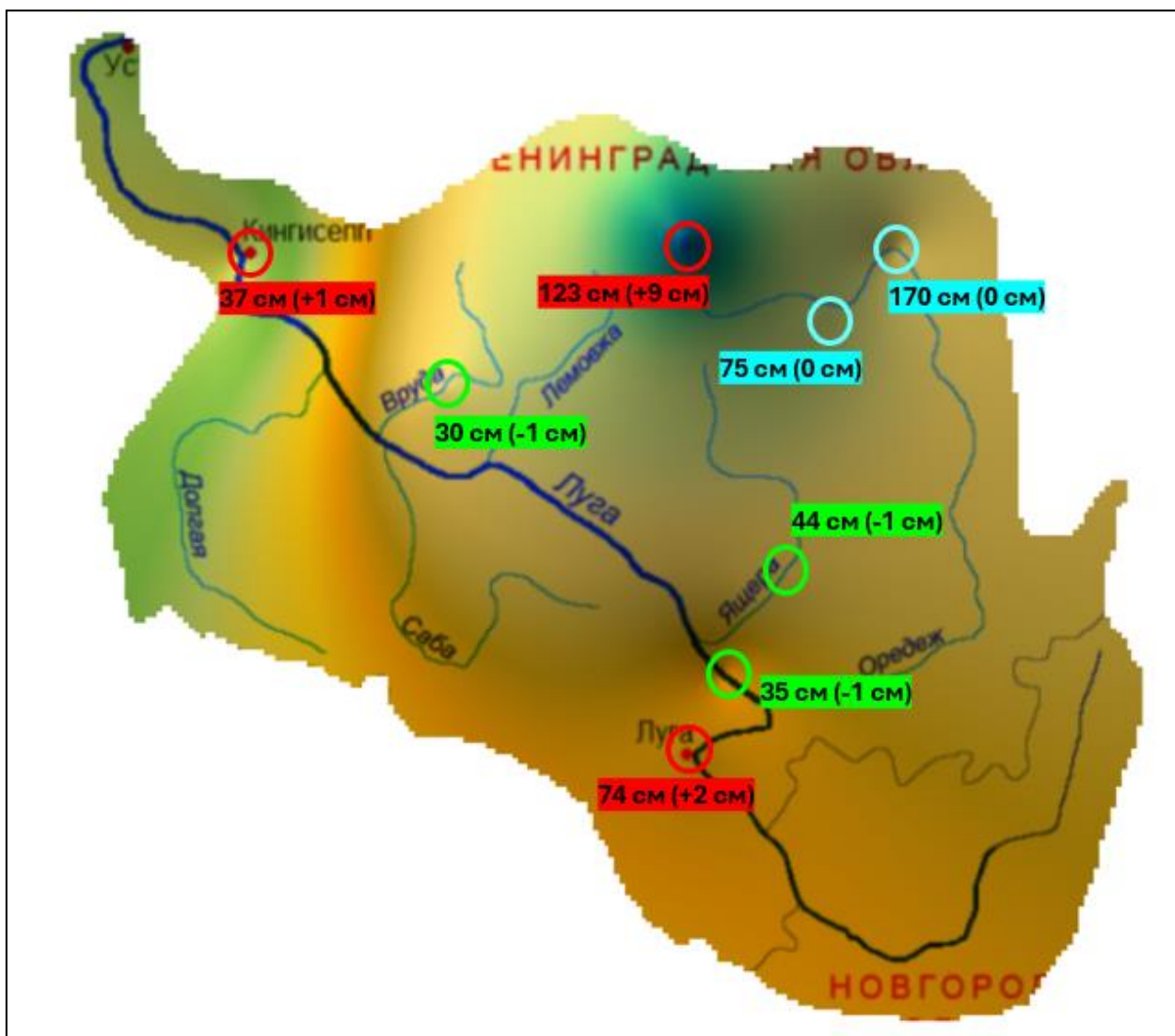


Рисунок 1.12 – Уровенный режим бассейна р. Луги на 1 сентября 2022 года



## 2 Возможности создания геопространственных двойников для уровней воды водных объектов Северо-Западного региона

### 2.1 Методы картирования гидрологических параметров и уровней воды

Картирование различных параметров широко используется в гидрологии для грубой оценки того или иного параметра в заданном районе. Картирование этих параметров производят исключительно на основе интерполяции их по всей необходимой для задачи территории, например, в СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» были представлены все необходимы для гидролога интерполяционные карты для всей территории СССР. На карты из этого СНиПа и по сей день опираются многие гидрологи.

В наших планах создать не просто ресурс для помощи за мониторингом в ЧС для обывателей, но и ресурс полезный для гидрологов всей страны, поэтому в будущем мы планируем добавить интерполированные карты параметров. Для нашего проекта мы рассматривали картирование интерполяционными методами таких гидрологических параметров как слой стока, средний многолетний годовой сток рек и модуль стока. Первоочередной задачей для автоматизации процесса создания интерполированных карт считается выбор метода интерполяции.

Интерполяция – это процесс оценки значений в неизвестных точках на основе известных данных, что критически важно для картирования параметров гидрологии. Методы интерполяции делятся на две основные категории: детерминистические и геостатистические. Детерминистические методы основаны на математических функциях или алгоритмах, не учитывающих статистическую структуру данных, в то время как геостатистические методы используют статистические модели для учета пространственной автокорреляции и предоставляют оценку ошибок.

### *Детерминистические методы интерполяции.*

Детерминистические методы предполагают, что значение в неизвестной точке можно определить напрямую из известных точек на основе заданных правил или функций. Они не учитывают статистическую структуру данных и не предоставляют оценку ошибок.

- а) Метод ОВР (Обратного взвешенного расстояния)
- б) Ближайший сосед
- в) Радиальные базисные функции
- г) Полиномиальная интерполяция
- д) Ядерное сглаживание
- е) Диффузионное ядро
- ж) Линейная интерполяция
- з) TIN интерполяция
- и) Многоуровневые Б-сплайны

### *Геостатистические методы интерполяции*

Геостатистические методы используют статистические модели для оценки значений в неизвестных точках, учитывая пространственную автокорреляцию данных. Они основаны на теории регионализированных переменных и часто используют вариограммы для моделирования пространственной зависимости.

- а) Обычный кригинг
- б) Универсальный кригинг
- в) Индикаторный кригинг
- г) Совместный кригинг
- д) Эмпирический байесовский кригинг
- е) Регрессионный кригинг

Здесь представлены не все методы интерполяции, а лишь самые основные, распространенные и общепринятые. Из всего многообразия методов интерполяции нами были выбраны следующие: метод ОВР

(Обратного взвешенного расстояния), ближайший сосед, линейная интерполяция, TIN интерполяция, многоуровневые Б-сплайны и универсальный кригинг. Эти методы были выбраны лишь по одной причине, потому что именно эти методы представлены в базовой сборке свободной кроссплатформенной геоинформационной системы (далее просто ГИС) *QGIS*. Эта ГИС была выбрана по нескольким основным причинам:

а) *QGIS* является полностью бесплатной ГИС, в отличие от многих аналогов, например, *ArcGIS*.

б) Работа в *ArcGIS* усложнена тем, что компания ушла из РФ и лицензионное ПО крайне сложно получить, а наш проект не предусматривает работу на пиратском ПО.

в) Код *QGIS* полностью открыт, что делает *QGIS* самым гибким и удобным инструментом для задач нашего проекта.

Ниже представлены теоретические и математические основы каждого из выбранных нами методов интерполяции.

#### *Метод ОВР (Обратного взвешенного расстояния)*

Метод обратно-взвешенных расстояний – это детерминистический метод интерполяции, который позволяет оценивать значения в неизвестных точках на основе значений окружающих известных точек, опираясь на принцип пространственной автокорреляции. Основная идея заключается в том, что влияние известной точки на неизвестную уменьшается с увеличением расстояния между ними. Чем ближе известная точка, тем больше её вклад в интерполированное значение. Этот метод считается нетрудным с точки зрения математики, но имеет свои ограничения, особенно в задачах с сложными пространственными зависимостями. Принцип работы метода основан на предположении, что ближайшие точки имеют наибольшее влияние на значение в неизвестной точке. Формула для интерполяции значения  $u(x)$  в точке  $x$  выглядит так:

$$u(x) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i(x) u_i}{\sum_{i=1}^N w_i(x)},$$

где  $w_i(x)$  – весовая функция,

$u_i$  – значение в известной точке  $x_i$ ,

$N$  – количество известных точек.

Для расчета весовой функции используется следующая формула:

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p} w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p},$$

где  $d(x, x_i)$  – расстояние между неизвестной точкой  $x$  и известной точкой  $x_i$ ,

$p$  – параметр степени (обычно равен 2).

Параметр  $p$  определяет, насколько быстро уменьшается влияние точек с увеличением расстояния. Чем больше параметр  $p$ , тем большее влияние имеют ближайшие точки. Существует несколько модификаций данного метода, например, метод Шепарда, которые добавляют дополнительные весовые коэффициенты или служат для выполнения определенных задач.

При анализе отечественной и зарубежной литературы были выделены основные тезисы «за» и «против» использования данного метода.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Прост в реализации и не требует больших ресурсов для расчета.
- Быстро вычисляется для любого количества наборов данных
- Может быть применен к различным типам данных, что делает его универсальным
- Метод является адаптивным к различным условиям, так как для него можно задавать радиус поиска и степень влияния расстояния для ближайших точек.

- ОВР эффективно работает в задачах с линейной пространственной автокорреляцией. Метод основан на предположении, что ближайшие точки имеют наибольшее влияние, что соответствует многим реальным ситуациям, особенно в гидрологии.

#### Тезисы «против»

- Метод ОВР, в отличие от геостатистических методов, не использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.
- Метод ОВР может создавать артефакты, такие как "бычий глаз" (концентрические круги вокруг известных точек), которые будут не соответствовать реальному распределению данных, особенно при низких значениях параметра  $p$ . А так же если задать в параметрах некорректный радиус поиска для ближайших точек.

#### *Ближайший сосед*

Метод Ближайший сосед, также известный как проксимальная интерполяция, является одним из самых простых детерминистических методов интерполяции. Он используется для оценки значений в неизвестных точках на основе ближайшей известной точки, не учитывая значения соседних точек. Этот метод широко применяется благодаря своей скорости и простоте, но имеет значительные ограничения в точности и качестве, особенно в задачах, требующих гладкости или моделирования сложных зависимостей. Метод заключается в присвоении значению в неизвестной точке  $(x, y)$  значения ближайшей известной точки  $(x_k, y_k)$ . Расстояние между точками для двухмерного пространства обычно вычисляется с помощью евклидовой метрики:

$$\text{dist}((x, y), (x_k, y_k)) = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2},$$

или манхэттенской метрики:

$$dist((x, y), (x_k, y_k)) = |x - x_k| + |y - y_k|.$$

В многомерном пространстве метод работает аналогично, но расстояние вычисляется в соответствующем пространстве. Математически, метод эквивалентен построению диаграммы Вороного, где пространство делится на ячейки, каждая из которых соответствует одной известной точке, и любая точка внутри ячейки принимает значение этой известной точки. Это приводит к кусочно-постоянной интерполяции, где результат представляет собой набор "блоков".

При анализе отечественной и зарубежной литературы были выделены основные тезисы «за» и «против» использования данного метода.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Простота реализации метода; в ПО. Алгоритм требует только поиска ближайшей точки и присвоения её значения, что включает базовые операции, такие как расчёт расстояния и округление. В программировании его можно реализовать всего за несколько строк кода.
- Скорость реализации метода; процесс ускоряет то, что для каждой неизвестной точки требуется только один запрос к ближайшей известной точке, что минимизирует вычислительные затраты и использование ресурсов.

Тезисы «против»:

- Отсутствие учета соседних точек, что влечет за собой низкую точность и качество интерполяции. Метод не учитывает значения соседних точек, что приводит к "блоковому" эффекту.
- Неоднозначные результаты при нелинейности данных. Метод слабо подходит для интерполяции данных с нелинейным поведением, и в



некоторых случаях может приводить к неожиданным и неверным результатам в случае нелинейности данных.

- Метод Ближайший сосед, в отличие от геостатистических методов, не использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.

### *Линейная интерполяция*

Линейная интерполяция – это фундаментальный метод оценки значения функции в неизвестной точке на основе двух ближайших известных точек, предполагая линейное изменение между ними. Это один из самых простых детерминистических методов интерполяции, широко используемый в различных науках и других областях благодаря своей простоте и скорости. Однако метод имеет ограничения, особенно при работе с нелинейными данными или редкими наборами точек. Линейная интерполяция используется для оценки значения  $y$  в точке  $x$  которая лежит между двумя известными точками  $(x_0, y_0)$  и  $(x_1, y_1)$ , где  $x_0 < x < x_1$ . Формула для интерполяции выглядит следующим образом:

$$y = y_0 + \frac{(y_1 - y_0)(x - x_0)}{x_1 - x_0}.$$

Эта формула представляет собой взвешенное среднее значений  $y_0$  и  $y_1$ , где веса зависят от относительного положения  $x$  между  $x_0$  и  $x_1$ . Суть такова, что с точки зрения геометрии – это соответствует нахождению точки на прямой линии, соединяющей две известные точки.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Линейная интерполяция является одним из самых простых и быстрых методов интерполяции. Для линейных данных метод даёт точные результаты без дополнительных вычислений.

- Применим к широкому спектру задач, включая одномерные, двумерные и многомерные данные.

Тезисы «против»:

- Метод ограничен при нелинейности данных. Метод не учитывает нелинейные зависимости, что может привести к значительным ошибкам.
- При линейной интерполяции отсутствует гладкость.
- Линейная интерполяция чувствительна к плотности данных, если точки данных в некоторой области неплотные, то точность интерполяции снижается, особенно в областях с высокой неопределенностью/вариативностью данных.
- Метод Линейная интерполяция, в отличие от геостатистических методов, не использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.

### *TIN интерполяция*

Метод интерполяции TIN – это подход, используемый в географических информационных системах (ГИС) и компьютерной графике для создания непрерывной поверхности из набора дискретных точек с известными значениями. Он особенно полезен для работы с неравномерно распределенными данными. Метод подразумевает соединение точек в сеть непересекающихся треугольников и интерполяцию значений внутри каждого треугольника, обычно с помощью линейной интерполяции.

Первый шаг в создании TIN поверхности, на основе которой производится интерполяция – триангуляция набора точек. Наиболее часто используется триангуляция Делоне, которая гарантирует, что ни одна точка не находится внутри окружности, описанной вокруг любого треугольника. Это обеспечивает оптимальное распределение треугольников и минимизацию перекосов, что важно для точного представления поверхности. Следующим шагом является непосредственно сама интерполяция. Для каждой точки внутри каждого треугольника значение интерполируется линейно на основе

значений в трех вершинах треугольника. Математически, для неизвестной точки  $P$  внутри треугольника с вершинами  $A, B$  и  $C$ , значение  $Z_P$  вычисляется по формуле:

$$Z_P = Z_A \cdot \alpha + Z_B \cdot \beta + Z_C \cdot \gamma,$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – барицентрические координаты точки  $P$  относительно треугольника  $ABC$ , сумма этих координат равна 1.

При анализе отечественной и зарубежной литературы были выделены основные тезисы «за» и «против» использования данного метода.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Метод TIN интерполяции эффективен для представления сложных поверхностей с неравномерно распределенными данными. TIN адаптируется к плотности данных, обеспечивая более высокое разрешение в областях с большим количеством точек и экономя ресурсы в областях с малым количеством точек. Метод точно сохраняет значения в исходных точках, что важно для задач, где обязательна целостность данных, то есть для большинства гидрологических задач.
- TIN хранит только вершины и ребра треугольников, что требует меньше памяти по сравнению с растровыми моделями, где хранятся значения для каждой ячейки.

Тезисы «против»:

- Поверхности TIN могут быть недостаточно гладкими или совсем негладкими. Линейная интерполяция внутри треугольников может привести к «фасетированному» и «ломанному» виду поверхности, особенно на больших масштабах.
- TIN чувствителен к распределению входных точек. Если точки распределены неравномерно, качество поверхности может снизиться, особенно в районах с малым количеством данных. Что может привести

к выбросам, ошибкам или неправдоподобным искажениям в интерполированной поверхности.

- Метод TIN интерполяции, в отличие от геостатистических методов, не использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.

### *Многоуровневые Б-сплайны*

Многоуровневые Б-сплайны – это иерархический метод интерполяции, который использует базисные функции В-сплайнов для построения гладкой поверхности или функции на основе набора точек. Этот подход был впервые предложен в 1990-х годах для задач обработки изображений и моделирования поверхностей. Основная идея заключается в разложении интерполяции на несколько уровней разрешения: от грубой аппроксимации на крупной сетке до уточнения деталей на более мелких сетках. Это позволяет эффективно обрабатывать большие и неравномерные наборы данных, обеспечивая гладкость и локальный контроль. Б-сплайны – это кусочно-полиномиальные функции, которые служат базисом для построения кривых и поверхностей. Они обладают свойствами, которые дают этому методу преимущество для использования в целях картирования гидрологических параметров: гладкостью и локальностью изменений.

$$N_{i,k}(x) = \frac{x - t_i}{t_{i+k} - t_i} N_{i,k-1}(x) + \frac{t_{i+k+1} - x}{t_{i+k+1} - t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(x),$$

где  $t_i$  – узлы параметризации,

$k$  – степень сплайна,

$x$  – точка, в которой вычисляется функция.

Для интерполяции обычно используются кубические Б-сплайны ( $k = 3$ ), обеспечивающие баланс между гладкостью и вычислительной сложностью. Отличительной особенностью данного метода является его многоуровневая

структура. Многоуровневые Б-сплайны расширяют стандартные Б-сплайны, используя иерархическую сетку. На каждом уровне  $l$  определяется сетка с шагом  $hl$ , где  $hl$  уменьшается с ростом уровня. На грубом уровне (низкое разрешение) строится начальная аппроксимация, которая захватывает общие тренды данных. На последующих уровнях добавляются более мелкие детали, уточняющие аппроксимацию. Интерполированная функция  $f(x)$  представляется как сумма Б-сплайнов на разных уровнях:

$$f(x) = \sum_{l=0}^L \sum_i c_{i,l} N_{i,k,l}(x),$$

где  $c_{i,l}$  – коэффициенты,

$N_{i,k,l}$  – Б-сплайн функции на уровне  $l$ , а  $L$  – число уровней.

Алгоритм построения многоуровневых Б-сплайнов состоит из нескольких основных этапов:

- Получение вводных для расчета (грубо определяется начальная сетка с крупным шагом по координатным осям).
- На грубом уровне решается система линейных уравнений для нахождения коэффициентов  $c_{i,0}$  минимизируя ошибку аппроксимации:

$$\sum_i c_{i,0} N_{i,k,0}(x_j) \approx f_j.$$

Используется метод наименьших квадратов или точная интерполяция.

- Расчёт остатков разности между исходными данными и текущей аппроксимацией:

$$r_j = f_j - \sum_i c_{i,0} N_{i,k,0}(x_j)$$

- Приближение сетки на последующих уровнях. Создаются более мелкие по шагу сетки. Остатки интерполируются на новом уровне, добавляя новые коэффициенты  $c_{i,l}$ .
- Процесс повторяется до конечно заданного числа итераций (количества уровней или приемлемой точности)
- Окончательная функция представляет из себя сумму аппроксимаций всех уровней.

При анализе отечественной и зарубежной литературы были выделены основные тезисы «за» и «против» использования данного метода.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Метод создаёт исключительно гладкие поверхности. В-сплайны имеют меньшую кривизну поверхности по сравнению с другими детерминистическими методами.
- Локальность В-сплайнов позволяет изменять данные в одной области без влияния на всю поверхность, обеспечивая устойчивость к локальным аномалиям, что является очень важным качеством при интерполяции гидрологических параметров.
- Структура, представляющая из себя разделение на уровни, делает метод вычислительно эффективным для обработки больших и неравномерных наборов данных.
- Универсальность метода. Он подходит для абсолютно различных задач и наборов данных за счет своей гибкости. Гибкость метода обусловлена тем, что в нем можно выбрать степень В-сплайна. А аппроксимационные сетки делают метод более защищенным от зашумленных данных.

Тезисы «против»:

- Метод требует больших вычислительных ресурсов из-за необходимости вычисления систем уравнений на каждом из уровней
- Метод может иногда чрезмерно сглаживать зашумленные данные

- Эффективность метода сильно зависит от правильности настройки параметров.
- Метод многоуровневых Б-сплайнов, в отличие от геостатистических методов, не использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.

### *Универсальный кригинг*

Кригинг – это геостатистический метод интерполяции, разработанный в 1960-х годах французским математиком Жоржем Матьероном на основе работы южноафриканского инженера Дани Криджа. Метод используется для оценки значений в неизвестных точках на основе известных данных, учитывая пространственную зависимость между ними. Кригинг особенно ценится за способность не только интерполировать значения, но и предоставлять оценки неопределённости, что делает его мощным инструментом в гидрологии и других областях.

Кригинг основан на концепции пространственной автокорреляции. Чем ближе объекты, тем большее влияние они оказывают друг на друга. Для моделирования этой зависимости используется вариограмма  $\gamma(h)$ , которая описывает, как дисперсия между парами точек зависит от расстояния  $h$ :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2,$$

где  $z(x_i)$  – значение в точке  $x_i$ ,  $z(x_i + h)$  – значение в точке, удаленной на расстояние  $h$  от точки  $x_i$ ,  $N(h)$  – количество пар точек на этом расстоянии  $h$ . Экспериментальные вариограммы аппроксимируются теоретическими моделями.

Для интерполяции значения  $\hat{z}(x_0)$  в неизвестной точке  $x_0$  используется взвешенная сумма известных значений:



$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i),$$

где веса  $\lambda_i$  определяются решением системы уравнений Кригинга:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x_0), & i = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \end{cases}$$

где  $\gamma$  – вариограмма,

$\mu$  – лагранжев множитель, обеспечивающий безсмещённость,

$n$  – количество известных точек,

$x_0$  – точка интерполяции

При анализе отечественной и зарубежной литературы были выделены основные тезисы «за» и «против» использования данного метода.

Тезисы «за» использование данного метода в целях картирования гидрологических параметров:

- Кригинг даёт лучший линейный безсмещённый прогноз, минимизируя дисперсию ошибки. Учитывает статистическую зависимость через вариограмму, что превосходит детерминистические методы.
- Метод использует вариограмму для моделирования пространственной корреляции, что улучшает интерполяцию.
- Кригинг даёт оценки дисперсии ошибки, что позволяет оценить надёжность прогнозов.
- Метод использует вариограммы или другие статистические инструменты для оценки пространственной зависимости.

Тезисы «против»:

- Кригинг требует значительных вычислительных мощностей, особенно для больших объемов данных.
- Моделирование вариограммы требует статистического анализа и опыта, так как неправильная модель вариограммы может привести к ошибкам.
- Метод требует предположения о стационарности, что может быть неверным для конкретных данных. Стационарность означает постоянство статистических свойств, что не всегда верно для гидрологических процессов.

*Выводы по теоретической базе о применимости выбранных методов интерполяции в гидрологии на основе анализа различных литературных источников*

Из вышеизложенной краткой теоретической базы по методам интерполяции можно выделить два метода, которые по нашим ожиданиям будут иметь наибольший успех: один метод детерминистический – многоуровневый Б-сплайн, второй геостатистический – универсальный кригинг. Эти методы наиболее подходящие для целей гидрологии (картирование гидрологических параметров). Многоуровневый Б-сплайн выигрывает на фоне других детерминистических методов за счет своей гладкости, локальности изменений и гибкости к изменениям параметров. А универсальный кригинг гладкий метод, который учитывает статистические зависимости данных, моделирует пространственную корреляцию данных и справляется с зашумленными данными статистически лучше любого другого метода. Оба этих метода имеют изъян в виде высокой требовательности к вычислительной аппаратуре, но в нашем проекте, мы решили, что для нас важнее точность, чем скорость.

Далее в работе над проектом мы решили самостоятельно сравнить методы интерполяции с «эталоном» непосредственно в самом ПО QGIS, так как в разных программах одни и те же методы интерполяции могут вести себя немного по-разному. В качестве «эталона» была взята карта распределения

параметра среднегодового стока рек. Поскольку мы пока что работаем только по Северо-Западному региону, была взята только нужная часть карты с СЗ регионом.



Рисунок 2.1 – Карта среднегодового стока рек СССР.

Снимок карты был привязан в *QGIS* к координатной системе WGS84 с помощью ключевых точек. Далее с карты в ПО переносились изолинии равного среднегодового стока рек, нанесенные на карте. Следующим шагом был выбор ключевых точек, по которым мы будем интерполировать и соответственно сравнивать методы интерполяции: мы решили выбрать точки пересечения линий равного среднегодового стока с водными объектами (реками) и добавить дополнительные точки, ради большего их количества на пересечении изолиний с координатной сеткой карты. Всего получилось 342 точки.

Хоть и по теоретическим данным было отобрано два «лучших» метода интерполяции, мы решили в рамках нашего проекта сравнить все методы интерполяции, представленные в базовой сборке *QGIS*, все они уже были перечислены выше и по ним представлена теоретическая база. Для того чтобы сравнить все методы по отдельности, по полученным точкам были построены поверхности различными способами интерполяции, а по поверхностям построены изолинии. На каждой картинке представлен один из методов интерполяции в сравнении с «эталоном».



Рисунок 2.2 – Изолинии постобработки поверхности линейной интерполяции (красным) и изолинии «эталона» (синим)

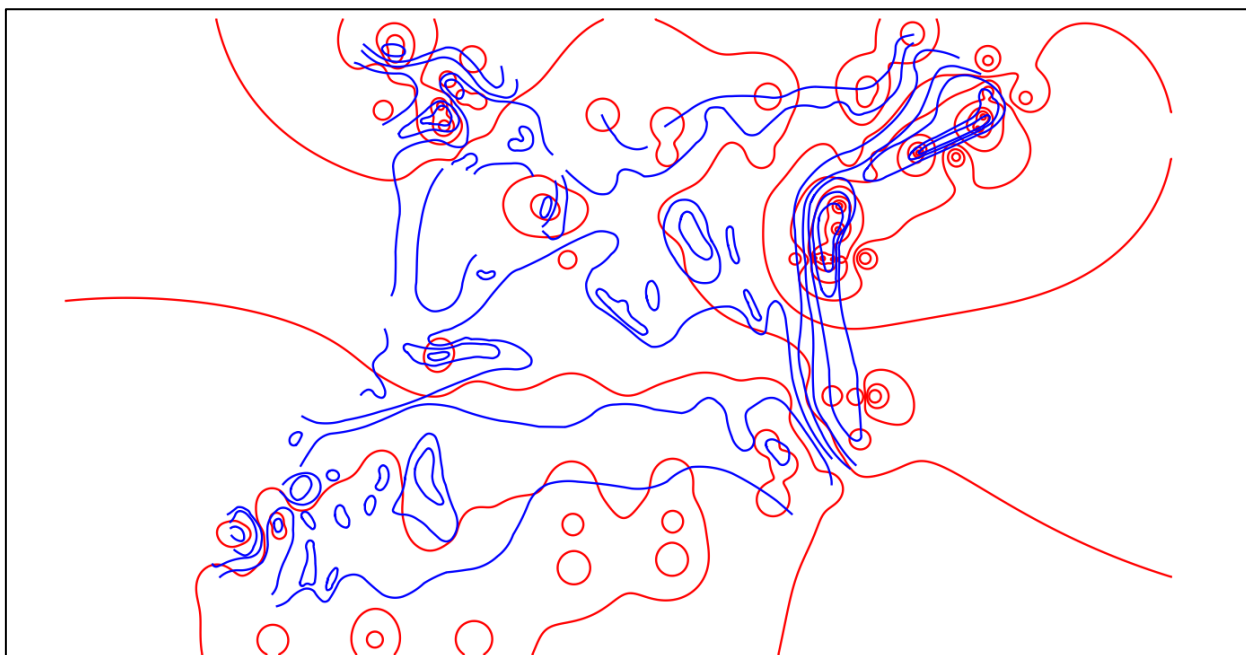


Рисунок 2.3 – Изолинии постобработки поверхности ОВР интерполяции  
(красным) и изолинии «эталона» (синим)

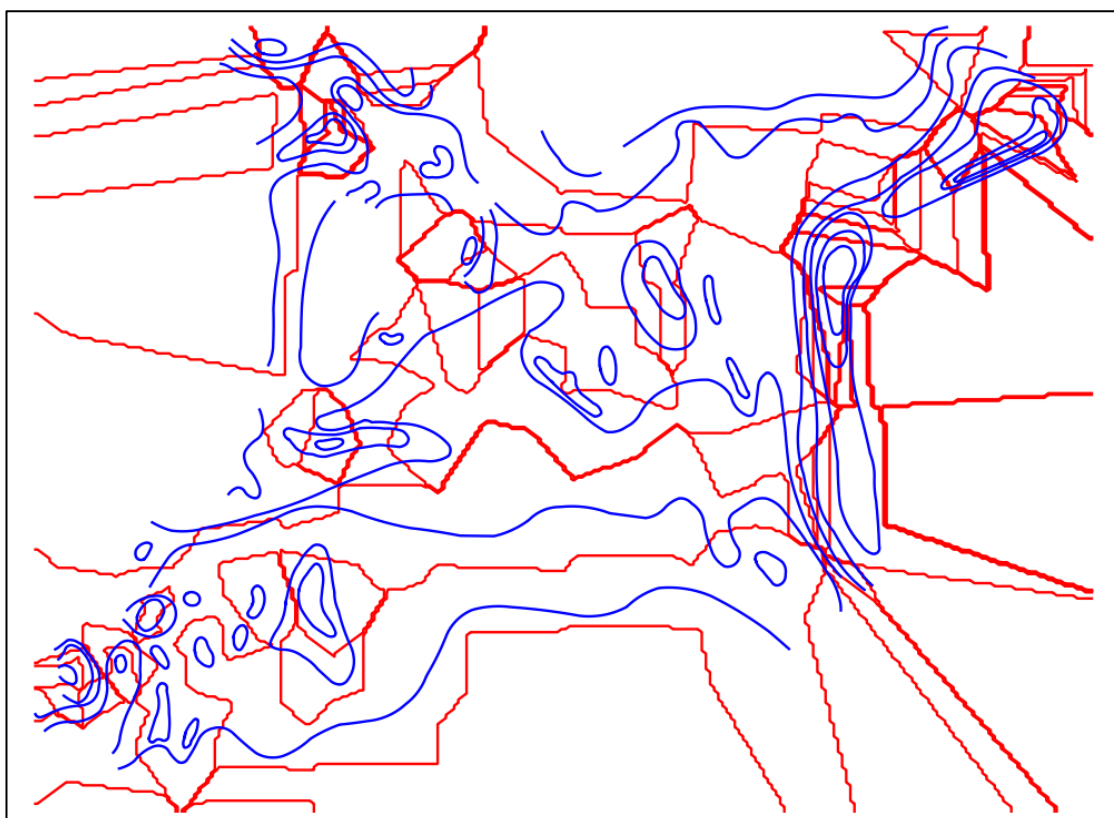


Рисунок 2.4 – Изолинии постобработки поверхности интерполяции  
Ближайший сосед (красным) и изолинии «эталона» (синим)



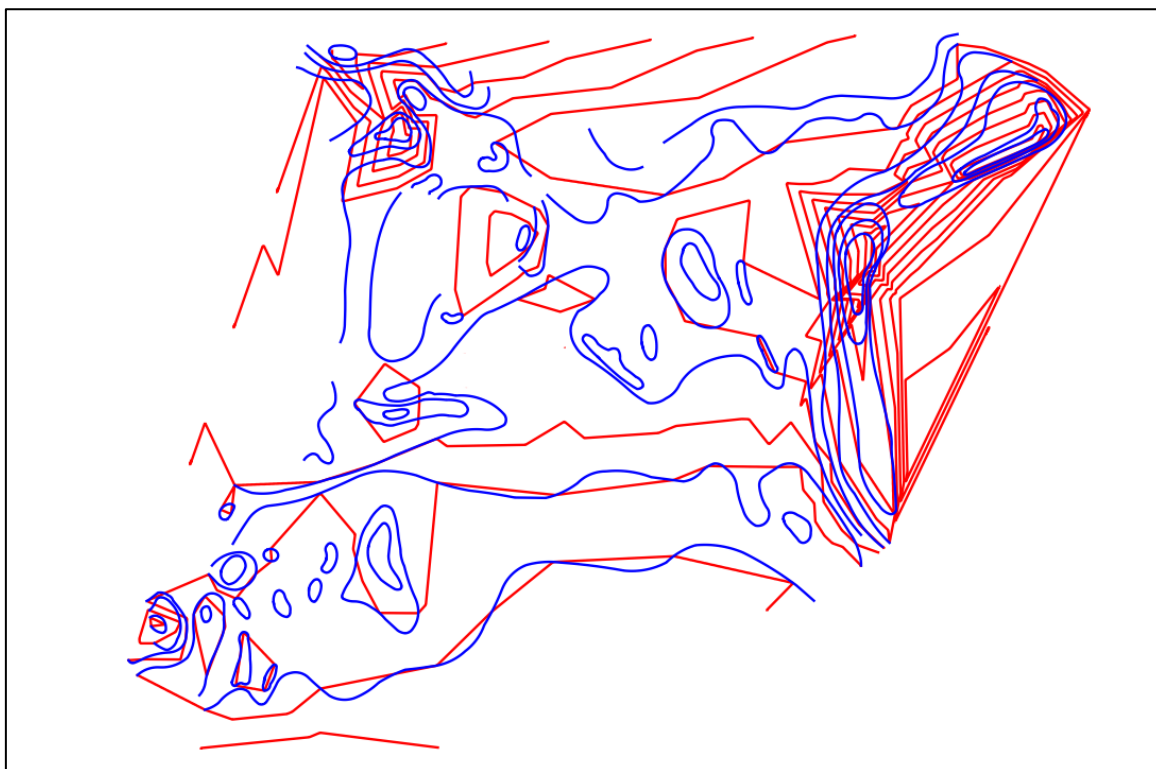


Рисунок 2.5 – Изолинии постобработки поверхности TIN интерполяции (красным) и изолинии «эталона» (синим)

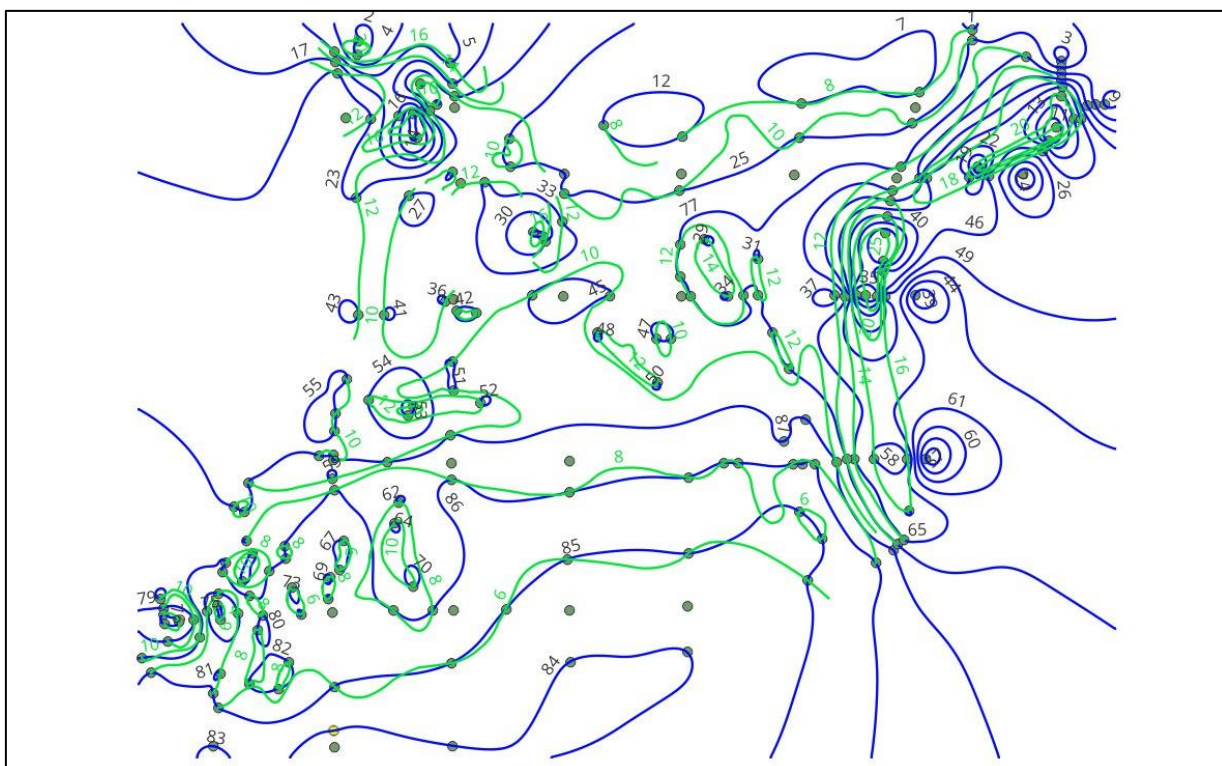


Рисунок 2.6 – Изолинии постобработки поверхности многоуровневого Б-сплайна (синим) и изолинии «эталона» (зеленым)

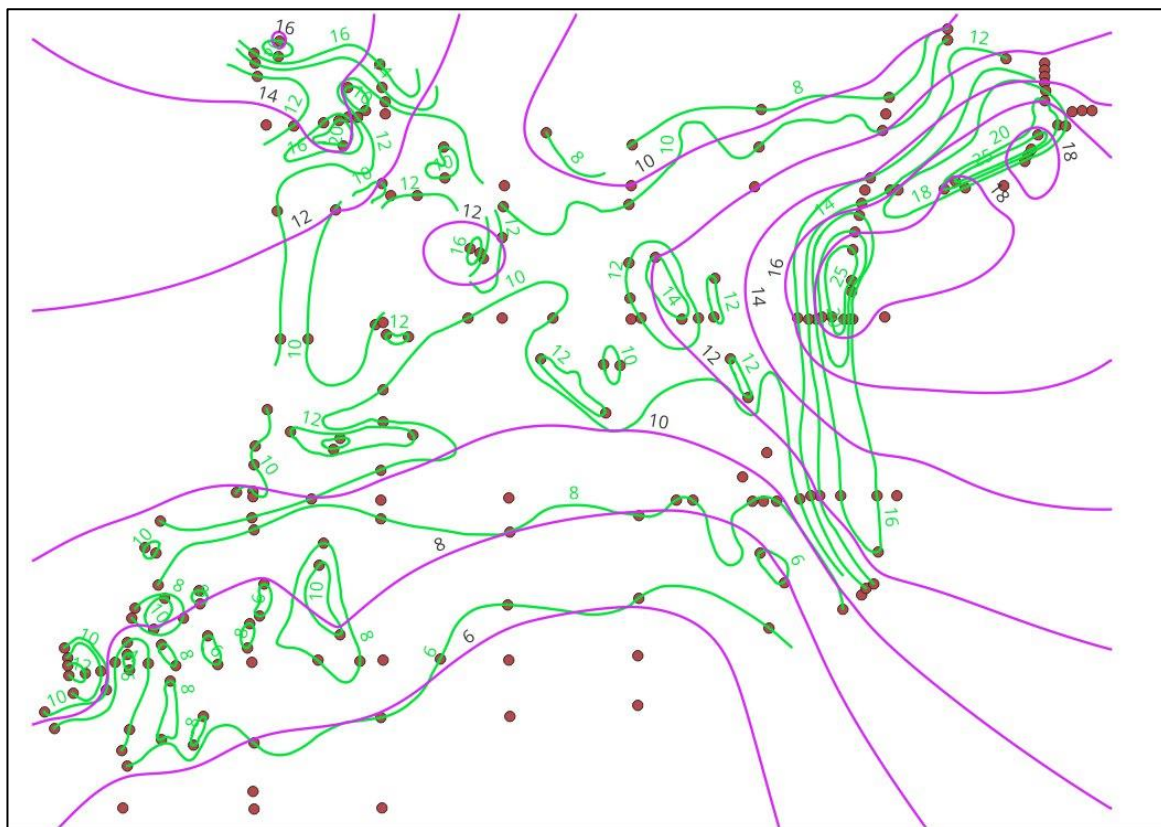


Рисунок 2.7 – Изолинии постобработки поверхности кригинга (фиолетовым) и изолинии «эталона» (зеленым)

*Промежуточная визуальная оценка полученных данных:* визуально оценив полученные изображения можно сделать вывод о том, что лучше всего себя показал метод многоуровневого Б-сплайна. На фоне остальных линии полученные многоуровневым Б-сплайном максимально приближены к «эталонным» линиям. За ним идут кригинг и TIN интерполяция, а после все остальные.

*Сравнение методов интерполяции с помощью кода.*

Для целей нашего проекта мы написали код на языке программирования *Python*, который с помощью компьютерного зрения реализует расчет отклонения линий одного типа от другого (код учитывает как цвет линий, так и их значения). Отклонения методов рассчитывались от эталонной карты – карта распределения нормы речного стока из СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». Программный код представлен ниже, а результаты сравнения методов с помощью кода – в табл. 2.1.

```

import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from urllib.request import urlretrieve
import os

def download_image(url, filename):
    try:
        urlretrieve(url, filename)
        return True
    except Exception as e:
        print(f'Ошибка загрузки {url}: {e}')
        return False

def analyze_lines(image_path, colors):
    # Загрузка изображения
    img = cv2.imread(image_path)
    if img is None:
        print(f'Не удалось загрузить {image_path}')
        return None

    img_rgb = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    masks = {}
    contours = {}

    # Создание масок для каждого цвета
    for color_name, (lower, upper) in colors.items():
        mask = cv2.inRange(hsv, np.array(lower), np.array(upper))
        mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_CLOSE, np.ones((5,5),
np.uint8))
        masks[color_name] = mask

    # Поиск контуров

```



```

cnts, _ = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
if len(cnts) == 0:
    print(f'Не найдена линия цвета {color_name} на {image_path}')
    return None
contours[color_name] = cnts[0].squeeze()
# Выравнивание количества точек
min_len = min(len(contours[c]) for c in colors.keys())
lines = {c: contours[c][:min_len] for c in colors.keys()}
# Расчет отклонений между линиями
color1, color2 = list(colors.keys())
dx = np.median(lines[color1][:, 0] - lines[color2][:, 0])
dy = np.median(lines[color1][:, 1] - lines[color2][:, 1])
height, width = img.shape[:2]
return {
    'dx%': (dx / width) * 100,
    'dy%': (dy / height) * 100,
    'visualization': (img_rgb, masks)
}
# Цветовые диапазоны для разных типов линий
COLOR_PROFILES = {
    'red_blue': {
        'red': ([0, 70, 50], [10, 255, 255]),
        'blue': ([90, 50, 50], [130, 255, 255])
    },
    'green_blue': {
        'green': ([35, 50, 50], [85, 255, 255]),
        'blue': ([90, 50, 50], [130, 255, 255])
    }
}
# Анализ всех изображений

```

```

image_urls = [
    ('https://drive.google.com/uc?export=download&id=1VL9a5YkryN-
4H6wpke2tb32HNupPz3U3', 'red_blue'),
    ('https://drive.google.com/uc?export=download&id=1AU9HjcKF-
jsWLXZDvkJanq1xaH_11na4', 'green_blue'),
    ('https://drive.google.com/uc?export=download&id=1cgQZtuL7QLbC1Df2KUfh
Hbst_0J2y4CU', 'red_blue'),
    ('https://drive.google.com/uc?export=download&id=191hUuDXa-
q05m3JPcQXM2YaFFTNinRW2', 'green_blue')
]
results = []
for url, color_profile in image_urls:
    filename = f'temp_{len(results)}.png'
    if download_image(url, filename):
        print(f"\nАнализ {filename} ({color_profile})...")
        res = analyze_lines(filename, COLOR_PROFILES[color_profile])
        if res:
            results.append((filename, res))

            # Визуализация
            img, masks = res['visualization']
            plt.figure(figsize=(12, 4))
            plt.subplot(131); plt.imshow(img); plt.title("Original")
            plt.subplot(132);
            plt.imshow(masks[list(COLOR_PROFILES[color_profile].keys())[0]],
            cmap='gray')
            plt.title(f'{list(COLOR_PROFILES[color_profile].keys())[0]} line')
            plt.subplot(133);
            plt.imshow(masks[list(COLOR_PROFILES[color_profile].keys())[1]],
            cmap='gray')
            plt.title(f'{list(COLOR_PROFILES[color_profile].keys())[1]} line')

```

```

plt.show()

# Вывод результатов
print("\nИтоговые результаты:")
for filename, res in results:
    print(f'{filename}: X={res['dx%']:.2f} %, Y={res['dy%']:.2f} %')

# Удаление временных файлов
for filename, _ in results:
    os.remove(filename)

```

Используя данный код внутри *QGIS* (тут как раз нам пригодилось то, что *QGIS* ПО с открытым кодом) мы получили результаты представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительная таблица результатов методов интерполяции с эталонной картой

Метод интерполяции	% отклонения	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
Кригинг	7,83	2,91
Многоуровневый Б-сплайн	8,72	3,15
Ближайший сосед	12,34	5,67
ОВР (обратно-взвешенных расстояний) интерполяция	15,21	6,89
TIN интерполяция	9,45	4,12
Линейная интерполяция	14,22	6,05

В результате теоретического и практического анализа методов интерполяции сделаны следующие выводы:

– к наиболее точным методам интерполяции гидрологических величин можно отнести методы Кригинга и Многоуровневый Б-сплайн, особенно

хорошо они себя показывают в задачах с пространственной автокорреляцией и гладкими поверхностями;

- к наименее точным методам следует отнести методы ближайшего соседа и линейной интерполяции, данные методы плохо учитывают сложные зависимости в пространственном распределении характеристик;

- погрешность интерполяции сильно зависит от вида данных по пространственной локации.

Рекомендуется исследовательские работы, связанные с картированием результатов, начинать с оценки методов интерполяции и с оценки возможности метода интерполяции учитывать специфические особенности построения изолиний гидрологических характеристик.

### *Картирование уровней воды*

Уровни и расходы являются не картируемыми гидрологическими характеристиками. Но для визуализации данных по уровням рек на разрабатываемом нами ресурсе эта характеристика необходима. В связи с этим было принято решение о том, как на нашем ресурсе будет отображаться уровень. Мы решили, что для начального этапа проекта визуализация уровней, представленная на рис. 8 будет достаточной для потенциальных пользователей. Все просто: на месте каждого поста или установленного датчика автоматической регистрации уровней расположен кружок с уровнем на текущий день или с прогнозом на следующий, это можно будет выбрать в параметрах отображения карты, так же каждый кружок раскрашен цветом, сигнализирующем о степени опасности данного уровня, для местных жителей (градиент от красного до зеленого, где красный – самый опасный, а светло зеленый – самый безопасный).

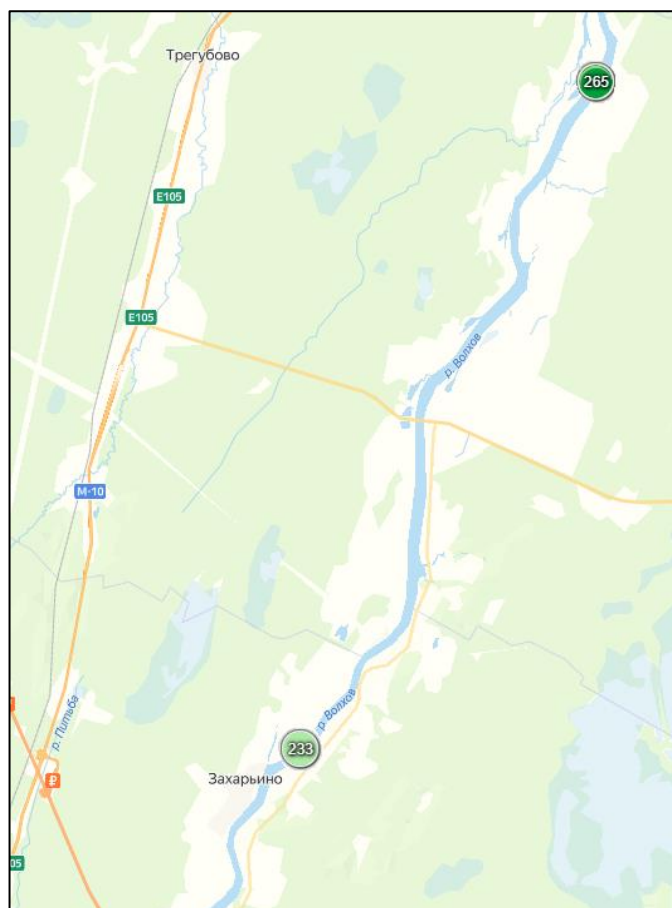


Рисунок 2.8 – Примерная визуализация уровней на разрабатываемом ресурсе.

## 2.2 Эффективные методы прогноза уровней воды рек Северо-Западного региона

Прогнозирование уровней воды в реках является важной задачей для управления водными ресурсами и контроля наводнений. В Северо-Западном федеральном округе России, включающем такие регионы, как Ленинградская область, Новгородская область и другие, реки играют ключевую роль в жизни населения и экономике этих регионов. Точные прогнозы уровней воды могут помочь в снижении рисков наводнений, оптимизации использования водных ресурсов и защите экосистем.

Цель данной главы – обзор и анализ эффективных методов прогноза уровней воды в реках Северо-Западного региона.

Во всем мире существует множество различных методов прогноза уровней воды. Есть традиционные статистические методы, такие как авторегрессионная интегрированная модель скользящего среднего или сезонная авторегрессионная интегрированная модель скользящего среднего; методы прогноза уровней с помощью машинного обучения такие как: модель с долгосрочной памятью с краткосрочным забыванием, метод «случайных ветвей» и метод опорных векторов; так же существуют физические модели, например, модель учета влажности почвы Сакраменто, которая используется в США для прогноза уровней воды.

В Российской Федерации, помимо стандартных, существуют специфические методы, которые используются только на территории РФ:

- а) Множественная регрессия для моделирования стока рек. В европейской части России, включая Северо-Западный федеральный округ, используются методы множественной регрессии (линейные и нелинейные) для моделирования стока рек. Эти методы объясняют 85–88% вариации данных, используя предикторы, такие как годовое количество осадков, сумма активных температур ( $> 10^{\circ}\text{C}$ ), средний градиент склона и лесной покров. Этот подход прост в реализации и эффективен для оценки стока, но может быть менее точным для сложных гидрологических систем.
- б) Модель оценки влажности почвы и воды. Например, в Северо-Западном федеральном округе для реки Полометь используется модель для симуляции дождевых наводнений. Модель калибруется и верифицируется с использованием долгосрочных данных (1994–2018 гг.), показывая хорошие результаты с коэффициентом эффективности модели Нэша–Сатклифа до 0,70 при использовании данных дождемеров.
- в) Операционная гидрологическая система прогнозирования Росгидромета. Росгидромет отвечает за мониторинг и прогнозирование наводнений по всей России, включая Северо-Западный регион. Их система включает сеть из 3068 гидрологических постов и использует

физико-статистические методы для решения уравнений водного и теплового баланса. Эти методы хорошо зарекомендовали себя, но их эффективность может быть ограничена в регионах с недостаточной плотностью метеостанций.

Для нашего проекта были выбраны два метода для создания моделей, как наиболее подходящие для наших целей: метод линейной тенденции и метод множественной регрессии. Эти методы были выбраны в связи с тем, что они позволяют получать краткосрочные прогнозы (на следующий день) на основе статистических данных.

#### *Метод линейной тенденции*

Линейная тенденция – это статистический подход, основанный на методе наименьших квадратов, который минимизирует сумму квадратов отклонений между наблюдаемыми данными и предсказанной прямой линией. Это делает его простым в реализации, требующим только исторические данные о уровнях воды и времени. Метод предполагает, что тренд ( $a$ ) и начальный уровень ( $b$ ) остаются постоянными, что позволяет прогнозировать будущие значения, экстраполируя линию за пределы имеющихся данных.

Этот метод часто используется в глобальных моделях прогноза температуры. Модель выглядит следующим образом:

$$y_t = a \cdot t + b + e_t,$$

где  $y_t$  – уровень в момент времени  $t$ ,

$a$  – коэффициент наклона (тренд),

$b$  – свободный член (уровень при  $t = 0$ ),  $e_t$  – ошибка, возникающая из-за недоучета всех факторов или отклонения. Этот метод широко применяется в гидрологии для анализа тенденций изменения уровня воды на основе уровней воды в прошлом. Во многом эффективность метода для прогнозирования уровней воды зависит от наличия линейного тренда.

Метод довольно прост в реализации, что является его преимуществом и легко реализуется даже при наличии рядов недостаточной длины, что может сделать этот метод эффективным для первичного анализа. Основной проблемой метода, в нашем случае, является предположение, что тренд линейный и постоянный. Однако в реальных гидрологических системах, таких как реки, уровни воды часто изменяются из-за сезонных колебаний, осадков, или человеческой деятельности, что создает большие ошибки в линейной модели. Так же, стоит отметить, что метод не может учитывать сезонность. Поэтому для более глубокого анализа и более точных прогнозов, обычно рекомендуют использовать более продвинутые методы, учитывающие динамику систем.

#### *Модель линейной тенденции для р. Полисть*

Поскольку в нашем проекте нас интересуют исключительно периоды высокой водности, с опасными для населения уровнями воды, было принято решение строить линейную модель только по периодам половодий. Это решение сразу минимизирует две основные проблемы метода нелинейность и сезонность.

Выбор пал на реку Полисть по ряду причин:

- На этой реке есть два гидропоста (гидропост Старая Русса и гидропост Утушкино), сток между которыми никак не зарегулирован, что является важнейшим фактором для прогнозов, ведь мы не можем прогнозировать то, что зарегулировано человеком.
- Вторым важнейшим фактором оказалось то, что примерно между этими гидропостами есть метеостанция (метеостанция Старая Русса). Это понадобится нам в будущем, при расчете модели регрессионным методом.



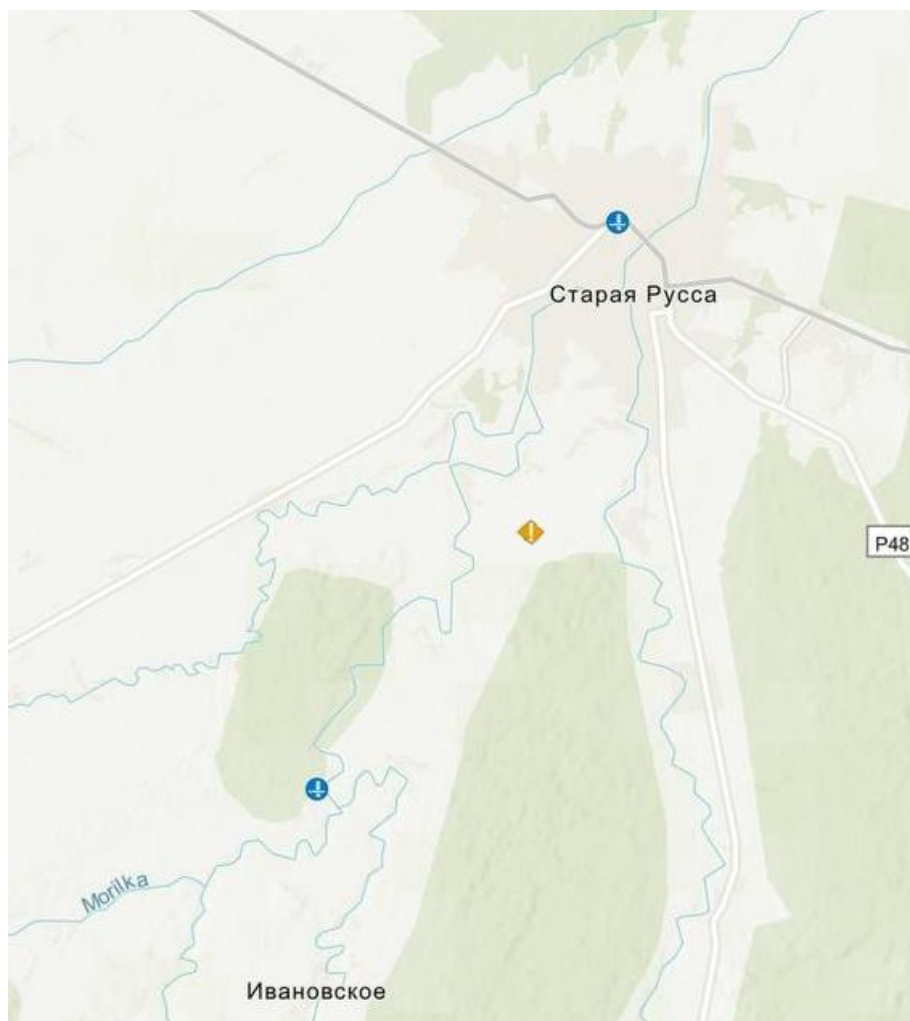


Рисунок 2.9 – Р. Полисть с гидропостами (отмечены синим) и метеостанцией (отмечена оранжевым)

Для построения модели были взяты данные по уровням по каждому из постов за 5 лет: 2008, 2009, 2010, 2011 и 2012. Для каждого года и каждого выделяется период половодья. После выделения половодья было выявлено, что половодье на нижнем створе (Старая Русса) в среднем длится на 52 дня дольше, это обусловлено тем, что между постами в р. Полисть впадает ее приток – р. Снежа.

Далее все выделенные периоды для удобства были объединены в одну таблицу для расчета параметров  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Эти параметры рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= H_t - H_{t-1}, \\ \tau_2 &= H_{t+1} - H_{t-1},\end{aligned}$$

где  $H_t$  – значение функции  $H$  в момент  $t$ ,

$\tau_1$  – односуточные изменения уровней воды, разница между значений уровней за  $t + 1$  и  $t - 1$ ,

$\tau_2$  – двухсуточные изменения уровней воды разница между значений уровней за момент времени  $t + 1$  и  $t - 1$ . В нашем случае  $t = 1$  сутки.

Таблица 2.2 – Односуточные и двухсуточные изменения уровней воды в период половодий для 2008-2012 гг.

№ п/п	2008–2012 гг.		Изменение уровней $\Delta$	
	Дата	$H$ , см	$\tau_1$	$\tau_2$
1	22.02.08	115		
2	23.02.08	124	9	34
3	24.02.08	149	25	31
4	25.02.08	155	6	24
5	26.02.08	173	18	32
6	27.02.08	187	14	39
7	28.02.08	212	25	68
8	29.02.08	255	43	44
9	01.03.08	256	1	1
10	02.03.08	256	0	–4
....				
807	18.07.12	107	–2	–6
808	19.07.12	103	–4	

По данным полученным в таблице 2 строится линейная прогностическая зависимость, зависимость параметра  $\tau_1$  от  $\tau_2$  по каждому из постов.

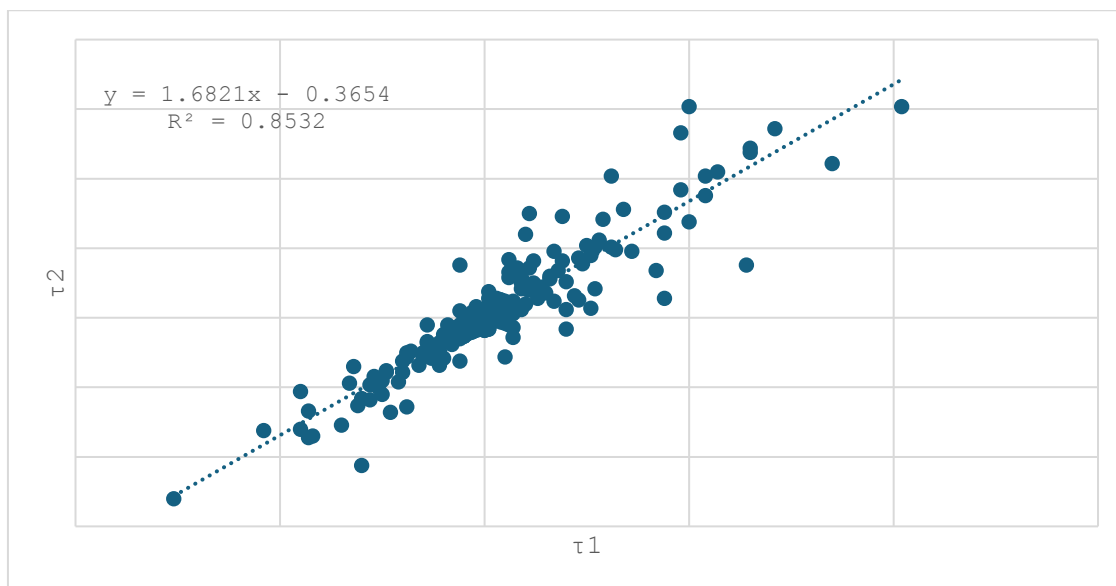


Рисунок 2.10 – Линейная зависимость  $\tau_1$  от  $\tau_2$  для ретроспективного (модели) с линейным уравнением и значением  $R^2$  для поста р. Полист' – д. Утушкино

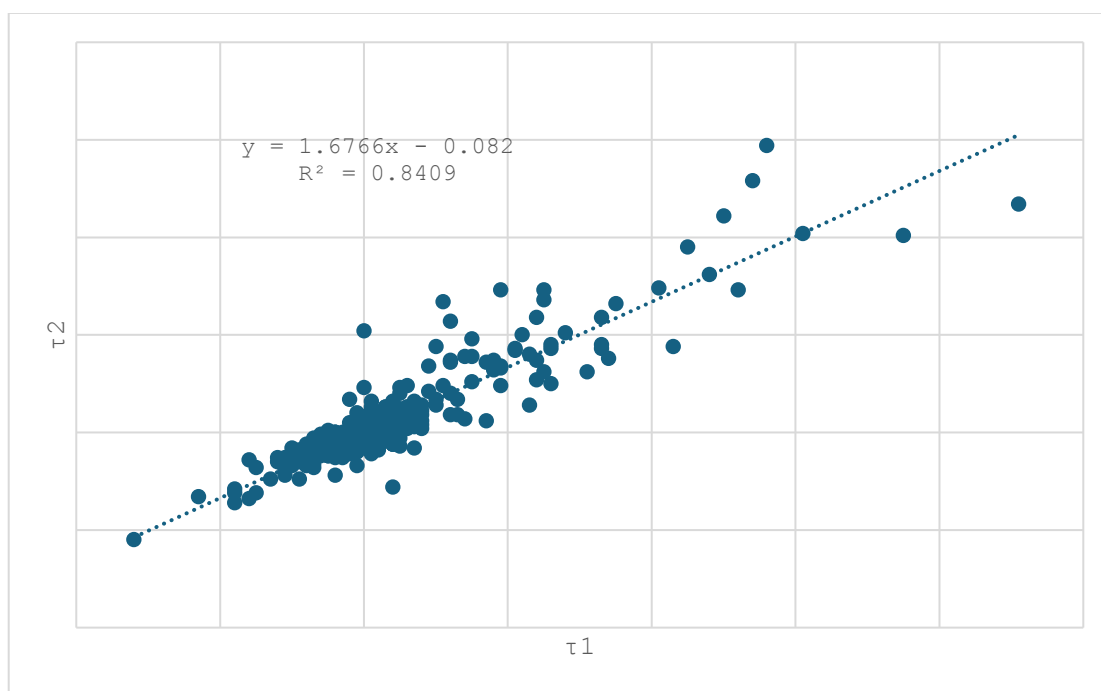


Рисунок 2.11 – Линейная зависимость  $\tau_1$  от  $\tau_2$  для ретроспективного (модели) с линейным уравнением и значением  $R^2$  для поста р. Полист' – Старая Русса

Были получены два тренда с хорошей зависимостью  $R^2 = 0,85$  и  $0,84$  соответственно. И два уравнения линейных трендов по первому и второму постам:

$$y = 1,6766x - 0,082,$$

$$y = 1,6821x - 0,3654.$$

После получения уравнений линейных трендов зависимости ретроспективных данных мы можем апробировать полученную модель с помощью уравнений линейной тенденции для прогноза на следующий, интересующий нас, год. В нашем случае это 2013 год.

Таблица 2.3 – Апробация модели. Прогноз уровней заблаговременностью одни сутки 2013 г.

№ п/п	2013 г.		Изменение уровней $\Delta$		Прогноз $H$ , см
	Дата	$H$ , см	$\tau 1$	$\tau 2$	1
1	10.04.13	103			
2	11.04.13	104	1	2	
3	12.04.13	105	1	2	105
4	13.04.13	107	2	3	106
5	14.04.13	150	43	72	108
6	15.04.13	219	69	116	179
7	16.04.13	288	69	116	266
8	17.04.13	362	74	124	335
9	18.04.13	452	90	151	412
10	19.04.13	527	75	126	513
...					
136	23.08.13	141	-1	-2	142
137	24.08.13	137	-4	-7	140

138	25.08.13	136	-1	-2	134
139	26.08.13	134	-2	-3	135
140	27.08.13	132	-2	-3	133

В данной таблице  $\tau_2$  рассчитывается не как разница между уровнями с заблаговременностью в 2 суток, а по уравнениям линейных трендов, где параметр уравнения линейного тренда зависимости значений  $\tau_1$  от  $\tau_2$  ретроспективного ряда данных  $x = \tau_1$ , то есть для первого поста:

$$\tau_2 = 1,6821\tau_1 - 0,3654,$$

а для второго:

$$\tau_2 = 1,6766\tau_1 - 0,082.$$

После полученного ряда прогнозных уровней мы можем оценить надежность модели сравнив ряд с фактическими данными. Для начала мы оценим надежность модели и прогнозов графически, построив в *Excel* графики динамики по дням фактических уровней и прогнозных для каждого из постов (рисунок 2.12, 2.13). Графики представлены ниже.

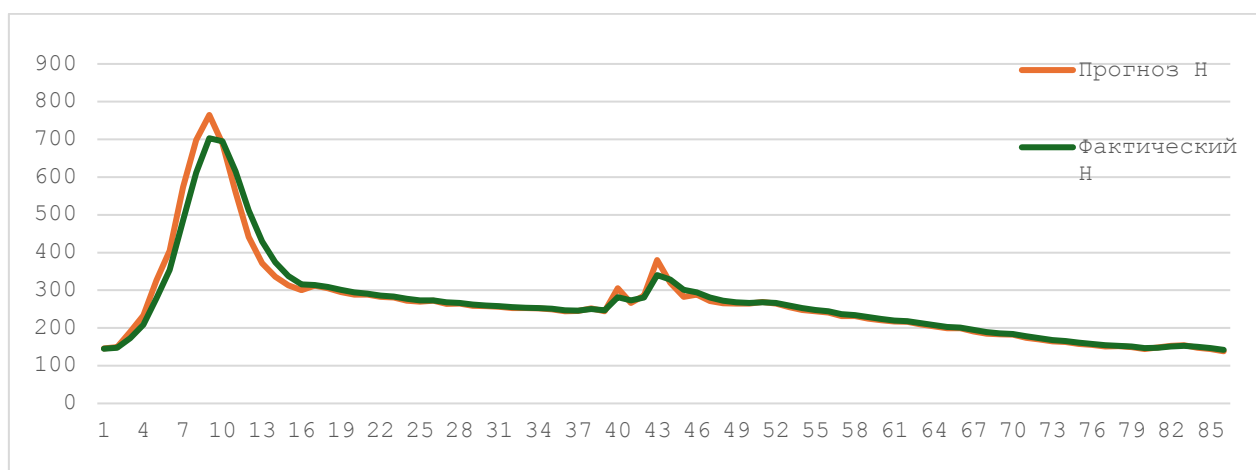


Рисунок 2.12 – сравнительный график фактических и прогнозных  $H$  для гидрологического поста р. Полисть – д. Утушкино

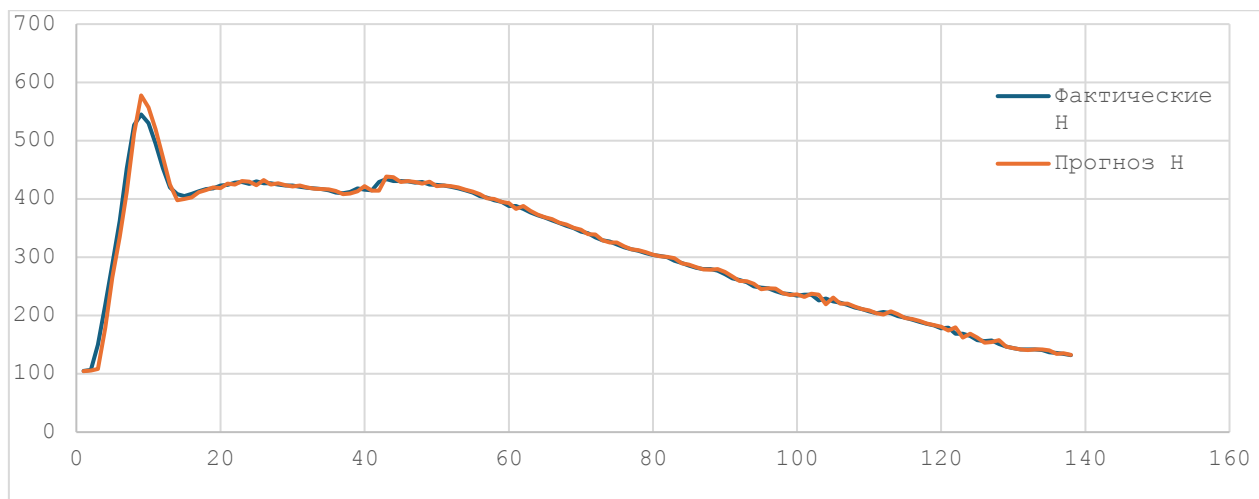


Рисунок 2.13 – сравнительный график фактических и прогнозных  $H$  для гидрологического поста р. Полисть – г. Старая Русса

*Визуальная оценка апробации модели:* на обоих графиках мы видим довольно точное повторение всех форм фактического графика уровней прогнозным графиком, что сигнализирует нам о том, что модель показала себя эффективной и довольно надежной для наших целей. Если учесть тот факт, что мы взяли минимальное количество лет для построения модели (5 лет), то модель можно еще сильнее улучшать, увеличивая ретроспективный ряд данных, по которому строится модельная зависимость. Так же стоит отметить, что модель предсказывает пики (рис. 2.12) чуть раньше (на сутки), чем они есть по фактическим данным, что нельзя охарактеризовать как недостаток модели. Скорее, наоборот, это можно считать преимуществом так как: одна из основных целей нашего проекта помогать людям живущим вблизи водных объектов и, если они начнут раньше готовиться к подтоплению, то это только минимизирует финансовые или иные потери от подтоплений.

Для того чтобы быть уверенными в полученной модели окончательно требуется оценить прогноз не только визуально, но и принятым в РФ методом ГМЦ.

### Метод ГМЦ

По методу ГМЦ способ оценки оправдываемости основывается на методах математической статистики.

Величина допустимой погрешности прогноза определяется в зависимости от наблюдаемой в природных условиях изменчивости предсказываемой величины за период заблаговременности. Основной статистической мерой изменчивости случайной переменной является ее среднеквадратическое отклонение за период заблаговременности от нормы:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2},$$

где  $\Delta_i$  – изменение предсказываемой величины за период заблаговременности,

$\bar{\Delta}$  – норма этих изменений,

$n$  – число членов ряда.

В качестве допустимой погрешности (приемлемой) берется некоторая доля среднеквадратического отклонения, а именно:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \cdot \sigma_A$$

Прогноз считается оправдавшимся, если  $\delta_i \leq \delta_{\text{доп}}$ .

Для краткосрочных прогнозов  $\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \cdot \sigma_A$ . Для долгосрочных прогнозов  $\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \cdot \sigma_Y$ , где

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

– среднеквадратическое отклонение прогнозируемой величины от среднего.

Оценка прогноза:

- отлично:  $\delta_i \leq 0,3\delta_{\text{дор}}$ ;
- хорошо:  $\delta_i = (0,3 - 0,6)\delta_{\text{дор}}$ ;
- удовлетворительно:  $\delta_i = (0,6 - 1,0)\delta_{\text{дор}}$ .

*Оценка прогнозов модели с помощью метода ГМЦ.*

Для оценки прогноза уровней заблаговременностью одни сутки строится таблица (таблица 2.4) для расчета  $\delta_{\text{дор}}$  и подсчета количества оправдавшихся прогнозов.

Таблица 2.4 – Оценка прогноза уровней заблаговременностью одни сутки  
2013 г.

№ п/п	2013 г.		Прогноз $H$ , см	$(\Delta H_i - \Delta H_{\text{ср}})^2$	Ошибка прогноза $\delta$	$\delta^2$	Оправды- ваемость прогнозов
	Дата	$H$ , см					
1	10.04.13	103					
2	11.04.13	104		1			
3	12.04.13	105	103	1	2	4	+
4	13.04.13	107	105	3	2	6	+
5	14.04.13	150	109	1831	41	1685	–
6	15.04.13	219	179	4732	40	1599	–
7	16.04.13	288	266	4732	22	502	–
8	17.04.13	362	335	5445	27	751	–
9	18.04.13	452	412	8062	40	1601	–
10	19.04.13	527	513	5594	14	201	–
11	20.04.13	545	578	317	33	1067	–
12	21.04.13	530	557	231	27	734	–
13	22.04.13	495	520	1240	25	614	–
14	23.04.13	453	471	1782	18	333	–
15	24.04.13	420	425	1103	5	20	+



№ п/п	2013 г.		Прогноз <i>H</i> , см	$(\Delta H_i - \Delta H_{\text{ср}})^2$	Ошибка прогноза $\delta$	$\delta^2$	Оправды- ваемость прогнозов
	Дата	<i>H</i> , см					
16	25.04.13	408	398	149	10	108	+
17	26.04.13	405	400	10	5	27	+
18	27.04.13	409	403	14	6	37	+
19	28.04.13	413	412	14	1	2	+
20	29.04.13	417	416	14	1	2	+

...

136	23.08.13	141	142	1	1	1	+
137	24.08.13	137	140	18	3	11	+
138	25.08.13	136	134	1	2	3	+
139	26.08.13	134	135	5	1	2	+
140	27.08.13	132	133	5	1	0	+

Ошибка прогноза рассчитывается как:

$$\delta_i = | H_{\text{факт}} - H_{\text{прогноз}} |$$

$\delta_{\text{дор}}$  по створу по методу ГМЦ вышла равной 11. После сравнения всех  $\delta_i$  с  $\delta_{\text{дор}}$  были подсчитаны сбывшиеся («+» в таблице) и не сбывшиеся («-» в таблице) прогнозы. И получены следующие результаты, см. таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Количество прогнозов и их оправдываемость по каждому створу

	р. Полюсь – Старая Русса		р. Полюсь – г. Старая Русса	
	+	–	+	–
Количество	127	11	74	12
%	92	8	86	14

Результаты можно считать успешными, так как:

- Были найдены и проанализированы необходимые данные по выбранным створам.
- Построена модель линейной тенденции по двум выбранным створам.
- Модель была апробирована и получен прогноз на следующий год.
- Построены графики сравнения результатов апробации модели, анализ которых показал, что модель достаточно точная.
- Проведен математико-статистический анализ сравнения прогноза с фактическими данными методом ГМЦ, который подтвердил анализ графиков и вывод о том, что модель точная. Средний процент оправдываемости прогнозов по двум створам составил 91%, что можно считать хорошим результатом.

Следующая модель, которая была рассмотрена нами в качестве модели, на основе которой мы можем строить прогнозы в Северо-Западном регионе для нашего проекта – это модель множественной регрессии.

### *Регрессионные методы*

Регрессионные методы прогнозирования уровней воды – это статистические подходы, используемые для моделирования и предсказания уровней воды в реках, водохранилищах и других водных объектах на основе ретроспективных данных и связанных переменных, таких как осадки, температура и сток. Эти методы основаны на предположении, что уровень воды можно описать как функцию одного или нескольких независимых переменных с использованием линейной или нелинейной зависимости. Основные типы регрессионных методов включают линейную регрессию, множественную регрессию, нелинейную регрессию и временные ряды с регрессией. Основным отличительный признак метода регрессии от метода линейной тенденции – это то, что в методе регрессии используются

метеопараметры, рассчитывается вклад каждого в прогноз и записывается общей формулой.

Регрессионные методы устанавливают зависимость между зависимой переменной (уровнем воды) и одной или несколькими независимыми переменными (предикторами). Формально, модель линейной регрессии имеет вид:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon,$$

где  $y$  — уровень воды,

$x_1, x_2, \dots, x_k$  — независимые переменные (например, осадки, температура),

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  — коэффициенты вклада (значимости) модели,

$\varepsilon$  — случайная ошибка.

Множественная регрессия расширяет эту модель, включая несколько предикторов, а нелинейная регрессия используется, когда зависимость не является линейной (например, логарифмическая или экспоненциальная). Временные ряды включают регрессионные компоненты для учета сезонности и автокорреляции.

Регрессионные методы широко применяются в гидрологии для прогнозирования уровней воды благодаря их способности использовать ретроспективные данные и простоте реализации. Эти методы особенно полезны, когда данные ограничены, и требуется простая модель для начального анализа.

Преимущества регрессионных методов:

- Простота и доступность: линейная регрессия требует минимальных вычислительных ресурсов и может быть легко реализована даже с ограниченными данными.
- Интерпретируемость: коэффициенты регрессии позволяют понять, как каждый предиктор влияет на уровень воды. Например, положительный коэффициент для осадков указывает, что увеличение осадков приводит к повышению уровня воды.

- Эффективность для линейных зависимостей: если уровень воды действительно изменяется линейно в зависимости от предикторов, регрессия может давать точные прогнозы, особенно для краткосрочных горизонтов.

Ограничения регрессионных методов:

- Предположение о линейности: регрессия предполагает линейную зависимость между предикторами и уровнем воды, но в гидрологии часто встречаются нелинейные взаимосвязи, такие как пороговые эффекты (например, при сильных дождях) или сезонные колебания.
- Неспособность учитывать сезонность: простые регрессионные модели, такие как линейная регрессия, не учитывают сезонные паттерны, которые являются ключевыми для уровней воды, особенно в регионах с выраженными климатическими циклами.
- Чувствительность к выбросам: выбросы в данных, такие как аномальные наводнения, могут сильно повлиять на коэффициенты регрессии и снизить качество модели.
- Не учитывают временные зависимости: для временных рядов, таких как уровни воды, важно учитывать автокорреляцию (зависимость от предыдущих значений), что простые регрессионные модели не делают. Это ограничивает их применение для долгосрочных прогнозов.

### *Модель множественной регрессии для р. Полисть*

Модель строилась по реке Полисть, как и модель линейной тенденции, причины такого выбора уже обсуждались ранее. В этой модели, как и в модели линейной тенденции нас интересуют исключительно периоды высокой водности, поэтому модель так же строилась исключительно по периодам половодий. Для построения модели было выбрано 5 лет ретроспективных данных по уровням р. Полисть и по метеоданным с ближайшей метеостанции Старая Русса.

Метеопараметры, которые были использованы для модели: общее количество облачности, количество облачности нижнего яруса, форма облаков верхнего яруса, форма облаков среднего яруса, форма облаков вертикального развития, слоистые и слоисто-кучевые облака, слоисто-дождевые облака, направление ветра, средняя скорость ветра, максимальная скорость ветра, сумма осадков, температура поверхности почвы, температура поверхности почвы по мин. терм-ру, мин. температура поверхности почвы между сроками, Макс. температура поверхности почвы между сроками, температура поверхности почвы по макс. терм-ру п/встр., температура воздуха по сухому термометру, темп. воздуха по смоченному термометру, температура воздуха по мин. термометру, мин. температура воздуха между сроками, макс. температура воздуха между сроками, темпера воздуха по макс. термометру после встрях., парциальное давление водяного пара, относительная влажность воздуха, дефицит насыщения водяного пара, температура точки росы, атмосферное давление на уровне станции, атмосферное давление на уровне моря, характеристика барической тенденции, величина барической тенденции; всего 30 параметров.

Для построения модели в первую очередь необходимо привести данные, значения всех параметров и уровней к стандартному виду, т.е. «стандартизировать» все данные. Это делается с помощью формулы:

$$x_{\text{станд}} = (x - \sigma_x) \bar{x},$$

где  $x_{\text{станд}}$  — стандартизированное значение параметра,

$x$  — значение параметра,

$\sigma_x$  — СКО, взятое по ретроспективному ряду параметра.

После привода параметров к «стандартизированному» виду мы строит корреляционную матрицу по всем имеющимся данным.

В методе множественной регрессии и в гидрологии в общем корреляционная матрица используется для:

- Корреляционная матрица строится просто, так как в *Excel* есть соответствующая команда, для анализа данных.

[illegible]

87

Таблица 2.7 – Параметры с наибольшей корреляцией

Название	Значение корреляции
Температура поверхности почвы	–0,51815
Темп. воздуха по смоченному терм-ру	–0,49924
Парциальное давление водяного пара	–0,51083
Температура точки росы	–0,49172

Видно, что значение корреляции примерно равное у всех параметров, различия идет на сотые. Поэтому возвращаемся к корреляционной матрице и проверяем значения корреляции между этими параметрами. Значения корреляции между всеми выбранными параметрами крайне высокие  $r > 0.8$ , что означает, что все выбранные параметры имеют между собой мультиколлениарные связи. Поэтому принимаем решение о том, чтобы оставить только один параметр с самым высоким значением корреляции – это температура поверхности почвы, т. к. параметры с мультиколлениарными связями использовать нельзя.

У нас остается два ряда со стандартизированными данными: уровни и температура поверхности почвы для нахождения уравнения регрессии. Поскольку нас интересует прогноз мы смещаем один ряд относительно другого на 1 сутки, что будет давать нам заблаговременность в модели 1 сутки.

Таблица 2.8 – Ряды для нахождения уравнения регрессии

Уровни	Температура поверхности почвы
	–0,5642
0,390737979	–0,55333
0,544048402	–0,68709
0,717355837	–0,43479
0,957319977	–0,56747
1,037308023	–0,3728
1,230612469	–0,45545
1,510570632	–0,58052
1,457245268	–0,58269
1,383922892	–0,65882
...	
1,070636376	–0,9655
1,030642353	–0,8263
1,030642353	

Уравнение регрессии так же ищется с помощью команды *Excel* для анализа данных «Регрессия». После проведения расчетов мы получаем результат по стандартизированным данным.

Таблица 2.9 – Таблица коэффициентов регрессии

Переменная	Коэффициент регрессии
Температура поверхности почвы	–0,04522
Уровни	0,960839



Значения коэффициентов регрессии говорят нам о том какой вклад несет переменная в прогноз уровня воды на следующий день. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что метеопараметр почти не несет вклада в формирование уровня, имея очень незначительное значение.

Так же среди прочего мы получили значение коэффициента множественной регрессии, который равен 0,987. Чем ближе коэффициент множественной регрессии к 1, тем лучше рассчитанная модель. После расчета модели регрессионное уравнение принимает следующий вид:

$$H = 0,960839x_1 - 0,04522x_2,$$

где  $x_1$  — значения уровней,

$x_2$  — значения температуры поверхности почвы.

По полученным прогнозным данным мы можем построить сравнительный график с фактическими данными (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – графическое сравнение фактических и прогнозных значений уровня р. Полюсь – д. Утушкино

График показывает нам очень хорошую сходимость между фактическими значениями уровней и прогнозом, однако нам все равно необходимо оценить эффективность прогностической методики с помощью критерия  $S/\sigma$ .

Когда оценивают прогнозную методику с использованием отношения  $S/\sigma$  (где  $S$  – среднеквадратическая ошибка прогноза, а  $\sigma$  – допустимая или референтная среднеквадратическая ошибка), значение  $S/\sigma$  должно быть меньше критического значения, чтобы прогнозная методика считалась достаточно точной или оправдавшейся.

$$\frac{S}{\sigma} < \left(\frac{S}{\sigma}\right)_{\text{крит}}.$$

В нашем случае длина ряда  $n > 25$ , поэтому  $\left(\frac{S}{\sigma}\right)_{\text{крит}} = 0,8$ . Расчетное значение  $\frac{S}{\sigma}$  по данным р. Полисть – д. Утушкино равно 0,18. Из этого делаем вывод о том, что методика приемлема и эффективна.

#### *Метод множественной регрессии с прогнозом с верхнего поста на нижний*

В рамках нашего диплома, мы так же попробовали с помощью метода множественной регрессии сделать прогнозную модель для прогноза с верхнего поста (р. Полисть – д. Утушкино) на нижний (р. Полисть – г. Старая Русса). Для этого было сделано все то же самое, что и для предыдущей регрессионной модели, до момента с расчетом регрессионного уравнения. Тут мы добавляем третий столбец в наши ретроспективные данные – столбец со стандартизированными уровнями по нижнему створу с заблаговременностью в 1 сутки.

После расчета регрессии мы получаем следующие данные, см. таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Таблица коэффициентов регрессии

Переменная	Коэффициент регрессии
Температура поверхности почвы	1,440287
Уровни	0,676498

Значение коэффициента множественной регрессии равно 0,784, что уже говорит нам о том, что применимость модели под вопросом. Регрессионное уравнение принимает следующий вид:

$$H = 0,676498x_1 + 1,440287x_2,$$

где  $x_1$  – значения уровней,

$x_2$  – значения температуры поверхности почвы.

И без графического анализа видно, что модель плохая и нам не подойдет, но тем не менее по полученным прогнозным данным мы можем построить сравнительный график с фактическими данными (рис. 2.15).

На графике 2.15 мы видим, что прогнозные значения повторяют общие очертания фактических данных, но сходимость между ними крайне мала. Так происходит по одной основной причине: в участок реки Полисть между выбранными нами для анализа гидропостами впадает река Снежа, которая сильно меняет характер протекания половодья на нижнем посту (р. Полисть – г. Старая Русса). Второстепенной причиной можно считать то, что расстояние между постами, крайне маленькое ( $< 100$  км) и оно не обеспечивает заблаговременность в 1 сутки для уровней между ними.

Помимо всего прочего после оценки метода критерием  $S/\sigma$  было выявлено, что для смоделированных значений уровней  $\frac{S}{\sigma} = 0,82$ , что больше критического значения для  $\frac{S}{\sigma} = 0,8$ . А значит прогностическая методика не эффективна и неверна.

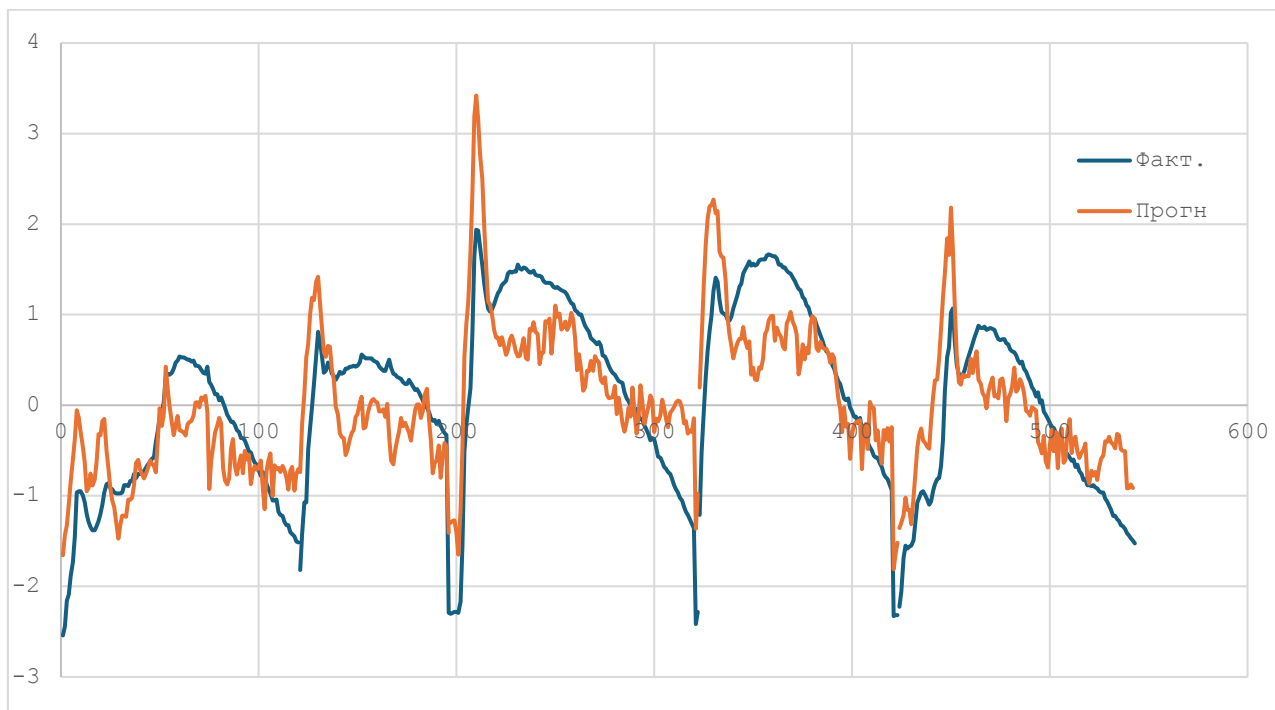


Рисунок 2.15 – графическое сравнение фактических и прогнозных значений уровня р. Полисть – г. Старая Русса

*Выводы для методов прогноза уровней воды рек Северо-Западного региона на примере р. Полисть*

Были рассмотрены два метода: метод линейной тенденции и метод множественной регрессии, для расчета уровней воды с заблаговременностью 1 сутки. Считаем, что рациональнее остановиться на выборе метода линейной тенденции, потому что:

- Метод показал хорошую оправданность прогнозов (91%).
- Метод подходит для целей нашего проекта: расчет уровней с заблаговременностью 1 сутки.
- Множественная регрессия для 1 створа так же показала хорошие результаты и эффективность методики, но вклад метеозлемента крайне незначительный (коэффициент 0,04), а значит им можно пренебречь. Множественная регрессия с 1 предиктором (уровни) это и есть метод

линейной тенденции. Следовательно, нам нет смысла тратить ресурсы на более требовательный метод множественной регрессии и пользоваться методом линейной тенденции.

- Метод множественной регрессии для прогноза уровней на нижнем посту по верхнему неприменим в рамках проекта, так как есть приток между постами. Однако, если бы были данные по притоку, их можно было бы скорректировать и тогда модель была бы применимой. Неприменим метод в основном из-за неразвитости гидрологической сети, из-за того, что посты расположены редко, почти невозможно найти бесприточный участок реки между двумя постами рядом с которым еще была бы метеостанция.

### 3 Гидроэкономическое обоснование решения с учетом производственных функций Северо-Западного региона

Реализация бизнеса по созданию приложения для информирования об изменениях уровня обладает несколькими конкурентными преимуществами, которые могут обосновать его успешность:

1. Информация о водности региона собрана в одном приложении. Важно связать пункты наблюдения в единую систему отчета.
2. Предоставляется информация об опасных явлениях. Используются данные о критических отметках.
3. Данные обновляются ежесуточно. Есть возможность получения прогнозных значений уровней воды на водных объектах
4. Возможность выбора конкретной точки на карте без учета погрешностей интерполяции.

Важно отметить, что для успешной реализации бизнеса важно провести детальное исследование рынка, оценить конкуренцию, потребности потребителей карты уровней, а также выполнить подробный бизнес-план. Это поможет обосновать реализуемость и выявить потенциальные риски и вызовы, связанные с запуском и управлением бизнеса по созданию приложения предоставления информации по уровням воды водных объектов.

#### 3.1 Бизнес-план проекта

1. Проблема: жители, проживающие рядом с водными объектами, могут понести материальный ущерб из-за отсутствия своевременного предупреждения о повышении уровня воды.

Дополнительно:

Отсутствие единой системы оперативного мониторинга уровня воды.

Государственные системы предупреждения часто запаздывают.

Люди не могут заранее оценить риски для имущества.

## 2. Ключевые сегменты потребителей

Жители, живущие рядом с водными объектами (дома, дачи, фермерские хозяйства).

Сельскохозяйственные предприятия (фермеры, аграрии, владельцы орошаемых земель).

Страховые компании (оценка рисков затопления).

Муниципальные службы (ЖКХ, службы ЧС, гидрологические службы).

## 3. Ценностное предложение

Наш сайт помогает жителям предотвратить материальный ущерб, предоставляя актуальную информацию о повышении уровня воды.

Дополнительные выгоды:

Визуализация данных в удобном формате.

Интерактивная карта с прогнозами.

Оповещения о критических изменениях уровня воды.

## 4. Решение

Сайт с интерактивной картой, где в реальном времени отображается уровень воды в ближайшем водоёме.

Функционал:

Отображение уровней воды на карте.

Исторические данные и тренды.

SMS и email-уведомления о риске повышения уровня воды.

API-доступ для партнеров (страховые компании, госслужбы).

## 5. Каналы распространения

Сотрудничество с МЧС (включение в систему экстренного оповещения).

Партнёрские программы с застройщиками, страховыми компаниями, агропредприятиями.

Реклама на сайтах недвижимости, прогнозов погоды, фермерских порталах.

Email-рассылка для жителей, попадающих в зону риска.

SMM и таргетированная реклама (ВКонтакте, Telegram).

SEO-продвижение (ключевые запросы: «уровень воды река», «затопление предупреждение» и т. д.).

#### 6. Потоки поступления доходов

Подписка (Freemium-модель):

Бесплатный доступ к базовым данным.

Платная подписка (299–999Р/мес) для прогноза и уведомлений.

Спонсорство и партнерство:

Рекламные интеграции страховых компаний, производителей насосного оборудования.

Продажа API-доступа государственным и коммерческим структурам.

Размещение рекламы (Google Ads, контекстная реклама).

#### 7. Структура издержек

Таблица 3.1 – Издержки

Категория	Наименование	Сумма, Р	Периодичность
Затраты на разработку	Разработка сайта и картографической платформы	160 000	Единоразово
	Подключение к источникам данных (API, гидрологические службы)	50 000	Единоразово
	Хостинг, серверы (начальные)	30 000	Единоразово
Постоянные расходы	Оклады сотрудников (разработчики, маркетолог, консультант)	200 000	Ежемесячно
	Сервер, хостинг, домен	15 000	Ежемесячно
	Бухгалтерия, налоги, ЭДО	50 000	Ежемесячно



Категория	Наименование	Сумма, Р	Периодичность
	Маркетинговый бюджет	100 000	Ежемесячно
Переменные расходы	Налоги (УСН 6% с выручки)	6% от выручки	Зависит от оборота
	Комиссия платежных систем (эквайринг)	2-3% от платежей	Зависит от транзакций
	Премии сотрудникам	% от прибыли	По результатам

## 8. Ключевые метрики

Количество зарегистрированных пользователей

Доля платных подписчиков (ожидание: 10-20%).

Частота использования сервиса (ежедневные заходы, запросы API).

Интеграция в Яндекс.Карты (если получится, это обеспечит приток трафика).

## 9. Финансовые показатели

Себестоимость разработки: 160 000 Р

Период окупаемости: 12 месяцев

Чистая прибыль за 12 месяцев: 3619 Р

Основная цель проекта заключается в том, чтобы предоставить людям возможность защитить свои материальные ценности и обеспечить безопасность своих семей. В случае, если уровень воды в реках или других водоемах начнет расти, пользователи платформы получают своевременные уведомления, что позволит им предпринять необходимые меры предосторожности.

Сайт будет функционировать как центр информирования, обеспечивая пользователей актуальными данными о состоянии гидрологической ситуации в их регионах. Планируется интеграция различных источников информации, таких как метеорологические данные, данные о состоянии водоемов и прогнозы специалистов. Таким образом, пользователи смогут не только

получать уведомления о текущих условиях, но и иметь доступ к аналитике *trends* и предыдущим ситуациям, что поможет им лучше понять возможные риски.

Хотя инициатива будет полезна для широкого круга пользователей, простое наличие информации на сайте недостаточно для того, чтобы гарантировать безопасность, особенно в кризисных ситуациях. Поэтому планируется активно сотрудничать с МЧС (Министерство чрезвычайных ситуаций), чтобы обеспечить более эффективное оповещение населения о возможных угрозах. Рассматривается возможность интеграции платформы в существующие системы оповещения МЧС, что позволит быстро и эффективно информировать граждан о рисках.

Таким образом, даже если люди не посещают сайт, они смогут получать уведомления о повышении уровня воды через SMS или другие каналы связи, инициированные МЧС на основе информации, поступающей с нашей платформы. Предполагается, что такая система повысит уровень готовности населения к чрезвычайным ситуациям и даст людям возможность заранее позаботиться о своих активах и безопасности.

Кроме этого, проект будет включать функции для оповещения местных органов власти и служб быстрого реагирования. Это позволит им оперативно принять меры для предотвращения дальнейших последствий в случае, если уровень воды действительно начнет угрожать населению и инфраструктуре региона.

Для решения проблемы предупреждения граждан о повышении уровня воды и связанных с ним рисках, как наводнения, наш стартап планирует реализовать несколько ключевых подходов и технологий:

1. Мониторинг данных в реальном времени

Интеграция с метеорологическими службами: будут использоваться данные от гидрометеорологических станций для отслеживания уровня воды в

реальных условиях. Регулярное обновление информации позволит оперативно реагировать на изменения.

Данные о гидрологическом состоянии рек и водоемов: системы мониторинга, установленные на основных реках и водоемах, будут передавать данные о текущем уровне воды, скорости течения и других важнейших показателях.

## 2. Аналитическая платформа

Анализ и прогнозирование риска: На основе собранных данных будут использоваться аналитические алгоритмы для выявления трендов, анализа исторических данных и прогнозирования потенциальных угроз. Это позволит заранее оценивать вероятность наводнения в определенных регионах.

Моделирование ситуаций: внедрение моделей для прогноза развития ситуаций с повышением уровня воды в зависимости от погодных условий и других факторов.

## 3. Система оповещения

Автоматизированное уведомление: На основе прогнозов и текущего состояния уровень воды, система будет автоматически генерировать уведомления и отправлять их пользователям через SMS, email или мобильное приложение.

## 4. Пользовательский интерфейс

Интуитивно понятный интерфейс: Создание простого и удобного интерфейса для пользователей, который поможет им быстро получать информацию о рисках, а также рекомендации по действиям. Сайт будет также адаптирован для мобильных устройств, чтобы обеспечить доступность информации в любое время.

Персонализированные уведомления: Пользователи смогут настроить свои параметры уведомлений, например, выбирать, о каких регионах и типах угроз они хотели бы получать информацию.

## 5. Образовательные программы

Программы повышения осведомленности: Мы будем организовывать кампании по информированию населения о рисках наводнений и мерах предосторожности. Эти программы помогут людям лучше подготовиться к возможным кризисам.

Создание материалов по реагированию на угрозы: На платформе будут размещены обучающие материалы, которые помогут пользователям узнать, какие меры принимать при получении уведомления о повышении уровня воды.

#### 6. Обратная связь и улучшение системы

Сбор отзывов и предложений: планируется активно собирать отзывы от пользователей и партнеров для постоянного улучшения платформы и системы оповещения. Это позволит адаптировать сервис под реальные потребности и повышать его эффективность.

### 3.2 Экономическое обоснование решения, потенциальные пользователи и заказчики

В настоящее время экономическая деятельность подавляющего большинства национальных гидрометеорологических служб и агентств различных стран сводится к управлению доступом к имеющейся в их распоряжении информации — в первую очередь, данным гидрометеорологических наблюдений и гидрометеорологическим прогнозам. В простейшем случае, соответствующем низшему уровню экономического развития национальной гидрометеорологической службы, государство и налогоплательщики получают свободный доступ к прогнозам общего пользования, а данные наблюдений реализуются по коммерческим каналам с целью частичной компенсации бюджетного финансирования.

Экономическая стратегия наиболее развитых гидрометеорологических служб мира совершенно иная. Налогоплательщики имеют свободный доступ

к данным наблюдений и прогнозам общего пользования, а источником прибыли является специализированное гидрометеорологическое обеспечение отдельных отраслей экономики или предприятий. Важно заметить, что этот вид гидрометеорологической деятельности является наиболее прибыльным, но, как ни странно, практически невыполнимым или выполняемым лишь частично национальными гидрометеорологическими службами. Поэтому появившаяся ниша быстро заполняется частными фирмами или малыми предприятиями при университетах – более гибкими в экономическом и организационном отношении, чем крупные государственные службы и агентства.

Более того, в ряде стран такие фирмы постепенно вытесняют государственные службы и агентства из значительных секторов рынка гидрометеорологических услуг, осуществляя адресное гидрометеорологическое обеспечение отдельных потребителей, включая сами государственные службы и агентства, например, в режиме аутсорсинга.

Потенциальными заказчиками можно назвать: государство, компании по добыче нефти, промышленная рыбалка, рыбные хозяйства, изыскания (гидрологи, метеорологи, геодезисты, океанологи), логисты, страховые компании.

Потенциальными пользователями: людей, живущих рядом с водными объектами, проектные институты, МЧС, ГЭС, региональные министерства экологии, сельскохозяйственные предприятия

### 3.3 Производственные функции, показывающие целесообразность разработанного продукта

1. Методика расчета по оптимизационному методу производственной функции

Вода используется на различных этапах производств практически всех видов продукции. В таблице 3.2 представлено, для примера, какой объем воды

и на какие цели расходуется при производстве единицы продукции.

Таблица 3.2 – Пример затрат объемов воды при различных видах производства

Вид производства	Затраты воды, литры	Цель
1 литр биодизель из сои	~11000	Орошение, переработка
1 кремниевая микросхема (чип)	~32	Промывка пластин
1 тонна цемента	3000–5000	Охлаждение, пылеподавление
1 тонна алюминия	1500000	Электролиз
1 баррель нефти	300	Добыча и переработка
1 кг антибиотиков	~150000	Ферментация, очистка
1 смартфон	12760	Добыча редкоземельных металлов, производство микросхем

Для расчета оптимальных показателей производства используется, так называемая, производственная функция, которая формируют критерии оптимизации и определяет реакции производственных показателей на управляющие воздействия. Производственная функция также оценивает зависимость объема продукции от использования водных ресурсов.

Существует несколько методов построения производственной функций: физический, статистический и оптимизационный.

Физический метод основан на использовании физических законов получения продукции. Статистический метод использует фактические ряды наблюдений. Оптимизационный метод решает задачу нахождения наилучшего решения задачи, по выбранному критерию, например, задачу распределения водных ресурсов при их дефиците.

В источнике [11] излагается методика оценки суммарного чистого дохода при эксплуатации водохранилища, вода из которого расходуется на

выработку электроэнергии и орошение сельскохозяйственных полей. Приведем методику.

«Оптимизация полезного объема водохранилища, для целей орошения и гидроэнергетики, проводится в пределах объемов имеющегося ресурса воды  $V_u$  [0...68] млн м<sup>3</sup>. Целевая функция представляет собой зависимость суммарного чистого дохода  $NI_\Sigma$ , получаемого от реализации продукции, получаемой при создании водохранилища, от его объемов ( $V$ ):

$$NI_\Sigma = f(V) \text{ при ограничении } V \leq V_{\max}$$

$$NI_\Sigma = I_\Sigma - C_\Sigma$$

$$I_\Sigma = I_w + I_e \quad C_\Sigma = C_c + C_d$$

где  $I_\Sigma$  – суммарный доход от использования водных ресурсов для целей орошения ( $I_w$ ) и энергетики ( $I_e$ );

$V$  – объем водохранилища;

$C_\Sigma$  – суммарные затраты на создание водохозяйственного комплекса;

$C_c$  – затраты на строительство гидроузла, оросительной системы и гидроэлектростанции (ГЭС);

$C_d$  – затраты на компенсацию ущерба объектам экономики и окружающей среде.

$$I_w = y_w * A_1 * W_w * \eta_w / M,$$

где  $y_w$  – удельный доход от реализации продукции, полученной на орошаемых землях, принимается равным  $y_w = 250000$  р/га;

$W_w$  – объем воды, подаваемый для орошения;

$\eta_w$  – к.п.д. оросительной системы ( $\eta_w = 0,85$ );  $A_1 = \exp(-0,2 * V/V_{\max})$ ;

$M = 2350$  м<sup>3</sup>/га – средневзвешенная оросительная норма, например, для Курской области.

$$I_e = c_e * W_e * H * 1000/432,$$

где  $c_e$  – удельный доход от ГЭС, принимается равным 3 руб/кВт\*ч;  $W_e$  – объем воды, подаваемый на ГЭС:  $W_e = V_{\max} - W_w$ ;  $H$  – напор на ГЭС;

432 – коэффициент, учитывающий условия работы ГЭС;

1000 – коэффициент, учитывающий увеличение дохода от платы промышленных предприятий за подаваемую мощность.

$$H = HW - DW \quad HW = f(V_f) \quad DW = f(Q);$$

$$V_u = V_d + VQ = (W_e + W_{eco})/31,54,$$

где  $HW$  – отметка уровня воды в верхнем бьефе, определяется по зависимости  $H = 2,58 * \ln(V) + 2,15$ , м (для  $V > 10$  млн м<sup>3</sup>, если  $H = 0,0$  м то  $V = 0,0$  млн м<sup>3</sup>);

$DW$  – отметка уровня воды в нижнем бьефе определяется по зависимости  $DW = 1,4 * \ln(Q) + 0,68$  (при  $Q > 2$  м<sup>3</sup>/с,  $DW = 0,0$  м при  $V = 0,0$  м<sup>3</sup>/с);

$V_f$  – полный объем воды в водохранилище равный сумме мертвого  $V_d$  и полезного  $V$  объемов;  $Q$  – расход воды, пропускаемый через турбины ГЭС.

$$C_c = A_2 * V * y_c,$$

где  $A_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение дельных затрат при увеличении объема водохранилища ( $V$ ), задается выражением  $A_2 = 0,5 * (V/V_{\max})^2 + 0,5 * (V/V_{\max})$ ;

$y_c$  – удельные затраты на строительство гидроузла, принимается  $y_c = 100$  руб/м<sup>3</sup>.

$$C_d = A_2 * F * y_d,$$

где  $y_d$  – удельный ущерб от создания водохранилища, руб/м<sup>2</sup>, принимается равной 120 руб/м<sup>2</sup>.

Площадь водохранилища определяется как отношение полного объема водохранилища ( $V_f$ ) к средней глубине ( $h_m$ ):



$$F = V_f / h_m \quad h_m \approx H_{max}/2.$$

Максимальная глубина воды в водохранилище принимается равной отметке верхнего бьефа  $H_{max} = HW$  м.»

Изложенная методика трудна для практического использования, так как не содержит четкой структуры последовательных действий.

2. Разработка блок-схемы оптимизации полезного объема водохранилища между гидроэнергетикой и орошением

Задача оптимизации полезного объема водохранилища между гидроэнергетикой и орошением. Эта задача является достаточно сложной, требующей учета множества факторов. Водные ресурсы ограничены и их распределение между различными отраслями должно быть экономически обоснованным.

Цель работы заключается в разработке расчетного алгоритма оптимизационного метода для экономического обоснования полезного объема водохранилища, который используется на орошение и на выработку электроэнергии.

В качестве практически эффективного элемента разрабатываемого алгоритма получена блок-схема, позволяющая систематизировать данные и проводить наглядный оптимизационный расчет полезного объема водохранилища. Распределение воды между энергетикой и орошением должно учитывать, как экономические выгоды, так и экологические и технические ограничения.

Оптимизация – процесс выбора наилучшего варианта управления системой из возможных, при заданных требованиях и ограничениях.

Используя теоретические выкладки из работы [11], была построена блок-схема для оптимизационных расчетов (рис. 3.1).

Результатом расчетов является определение суммарного чистого дохода:

$$\text{ЧД}_{\Sigma} = \text{Д}_{\Sigma} - \text{З}_{\Sigma},$$

где  $\text{Д}_{\Sigma}$  – суммарный доход от использования водных ресурсов для целей орошения и энергетики;

$\text{З}_{\Sigma}$  – суммарные затраты на создание водохозяйственного комплекса.

Для получения значения суммарного чистого дохода необходимо выполнить цепочку расчетов, которые представлены в виде блок-схемы на рисунке 3.1.

По разработанной блок-схеме были посчитаны 5 вариантов оптимизации проектируемого водохранилища при разных объемах (табл. 3.3), а также построены зависимости суммарного чистого дохода от объемов полезной емкости (рис. 3.2, 3.3).

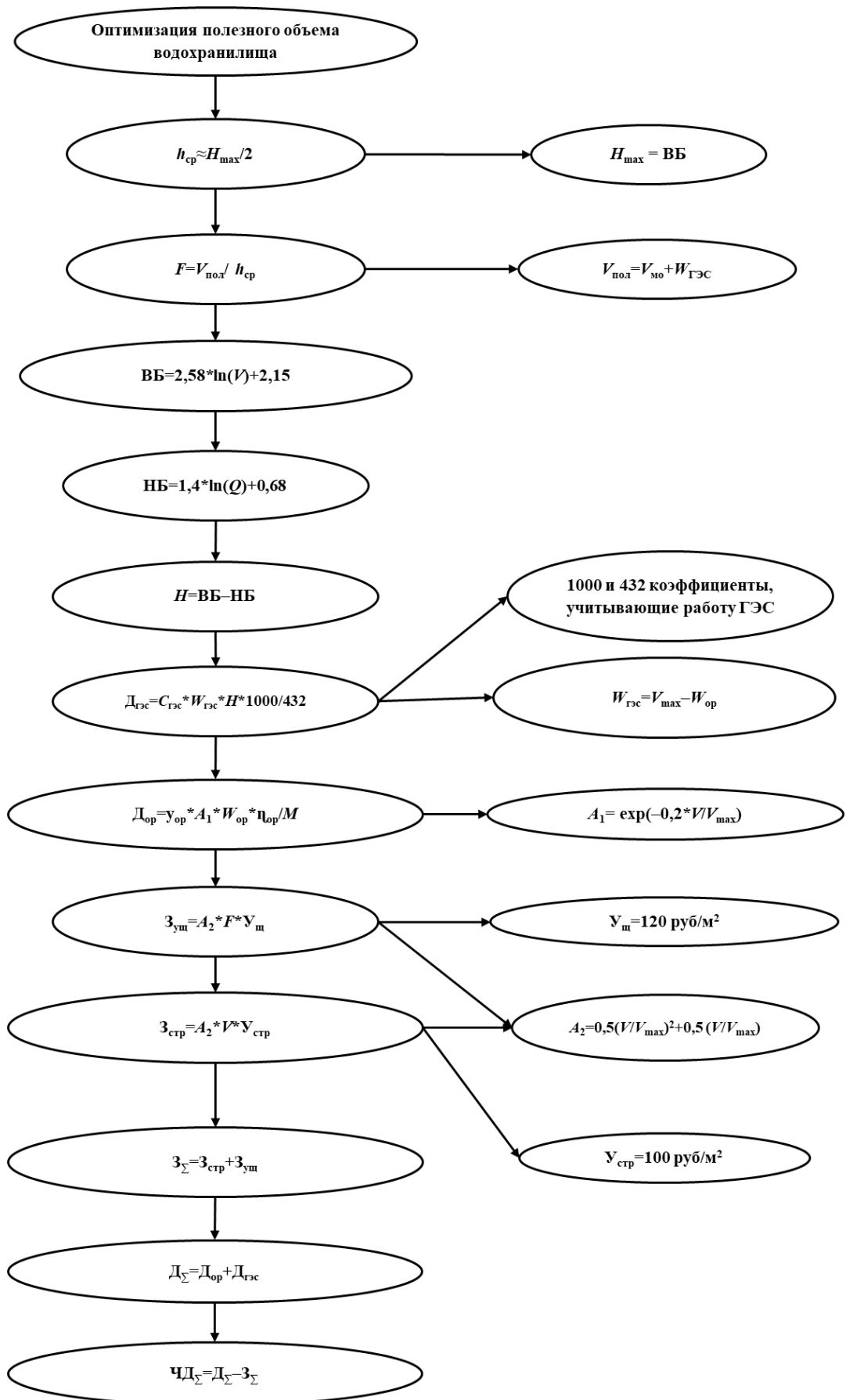


Рисунок 3.1 – Блок-схема оптимизации полезного объема водохранилища  
 $h_{cp}$  – средняя глубина водохранилища, м;  $V_{пол}$  – полный объем водохранилища,

млн м<sup>3</sup>; ВБ – уровень в верхнем бьефе, м;  $V_{\text{мо}}$  – мертвый объем водохранилища, млн м<sup>3</sup>;  $V_{\text{плз}}$  – полезный объем водохранилища, млн м<sup>3</sup>;  $V$  – расчетный объем водохранилища; НБ – уровень в нижнем бьефе, м;  $H$  – напор, м;  $D_{\text{гэс}}$  – доход от использования водных ресурсов для целей энергетики, млн руб.; 432 – коэффициент, учитывающий условия работы ГЭС; 1000 – коэффициент, учитывающий увеличение дохода от платы промышленных предприятий за подаваемую мощность;  $C_{\text{гэс}}$  – удельный доход от ГЭС, руб./кВт\*ч;  $W_{\text{гэс}}$  – объем, подаваемый на ГЭС, млн м<sup>3</sup>;  $V_{\text{max}}$  – максимальный объем водохранилища, млн м<sup>3</sup>;  $W_{\text{ор}}$  – объем воды, подаваемый на орошение, млн м<sup>3</sup>;  $D_{\text{ор}}$  – доход от использования водных ресурсов для целей орошения, млн руб.;  $y_{\text{ор}}$  – удельный доход от реализации продукции, полученной на орошаемых землях, руб./га;  $A_1$  – коэффициент, учитывающий снижение дохода при увеличении орошаемой площади;  $\eta_{\text{ор}}$  – к.п.д. оросительной системы;  $M$  – средневзвешенная оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;  $Z_{\text{ущ}}$  – затраты на компенсацию ущерба объектам экономики и окружающей среде, млн руб.;  $A_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение удельных затрат при увеличении объема водохранилища ( $V$ );  $F$  – площадь водохранилища, м<sup>2</sup>;  $y_{\text{щ}}$  – удельный ущерб от создания водохранилища, руб./м<sup>2</sup>;  $Z_{\text{стр}}$  – затраты на строительство гидроузла, оросительной системы и ГЭС, млн руб.;  $y_{\text{стр}}$  – удельные затраты на строительство гидроузла, руб./м<sup>3</sup>;  $Z_{\Sigma}$  – суммарные затраты на строительство водохозяйственного комплекса, млн руб.;  $D_{\Sigma}$  – суммарный доход от использования водных ресурсов для целей орошения и энергетики, млн руб.;  $ЧД_{\Sigma}$  – суммарный чистый доход, млн руб.

Таблица 3.3 – Фрагмент расчетной таблицы, вариант оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением  $V_{\text{плз}} = 14$  млн м<sup>3</sup>

вар.	$V_i$ , млн м <sup>3</sup>	A 1	W op	n op	...	A3	З гэс, млн р.	ЧД гэс, млн р	ΣЧД, млн р.
0	0	1	0	0,85	...	1	350	117	117
1	1	0,99	2	0,85		0,96	289	104	278
2	3	0,96	3	0,85		0,87	239	118	354
3	4	0,94	4	0,85		0,82	204	118	415
4	5	0,93	6	0,85		0,76	152	100	518
5	7	0,90	7	0,85		0,63	109	109	524
6	8	0,89	9	0,85		0,55	69	83	567
7	10	0,87	10	0,85		0,39	39	81	498
8	11	0,85	11	0,85		0,30	22	67	454
9	14	0,82	14	0,85		0	0	0	196

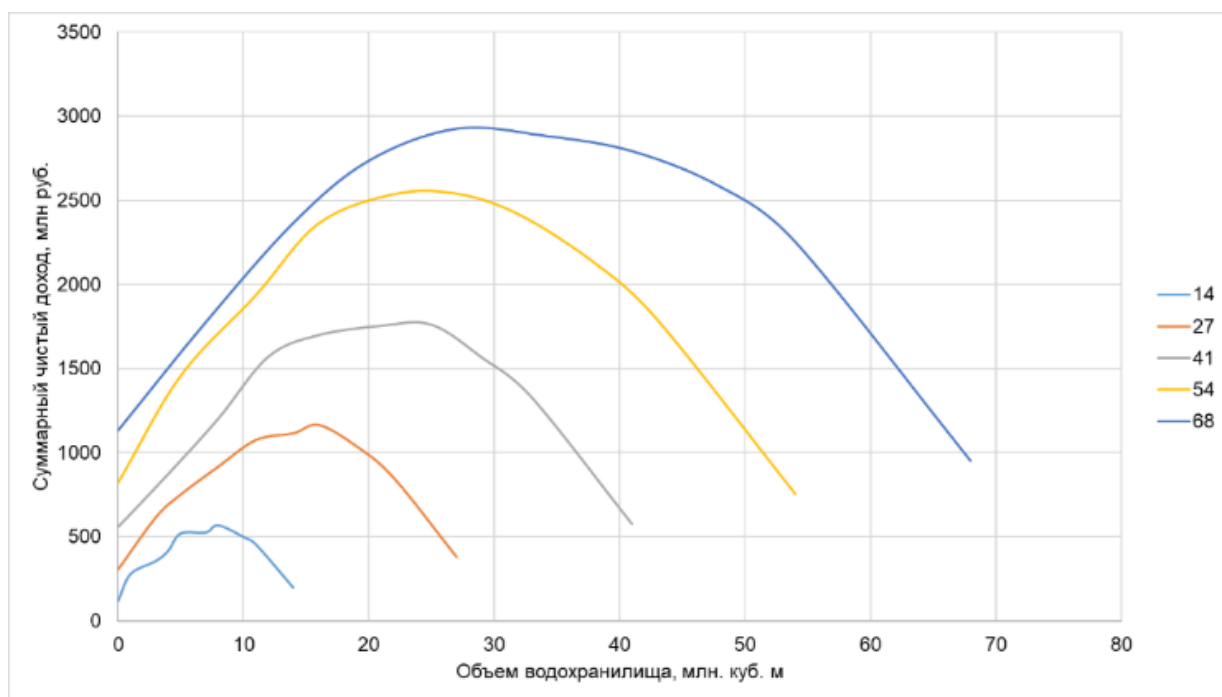


Рисунок 3.2 – Зависимость суммарного чистого дохода от объемов емкости с учетом полезного объема водохранилища

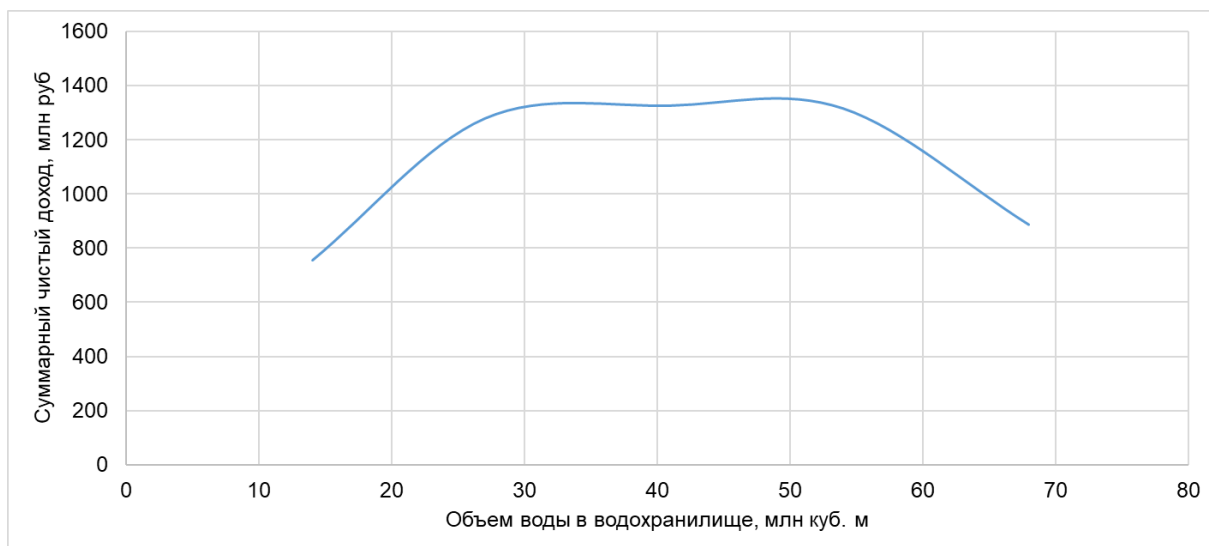


Рисунок 3.3 – Зависимость суммарного чистого дохода от объемов полезной емкости водохранилища

В таблицу 3.5 приведены варианты оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением.

### 3.4 Расчет оптимального полезного объема для реального объекта, на примере Волховского водохранилища

Используя вышеприведенную выше блок-схему, также были произведены расчеты оптимального полезного объема Волховского водохранилища. Все характеристики, необходимые для оптимизационного расчета, брались из ПИВР Волховского водохранилища [24].

«Волховское водохранилище образовано в нижнем течении р. Волхов с помощью узла гидротехнических сооружений Волховской ГЭС в русле реки.

Волховское водохранилище работает на стоке р. Волхов, зарегулированным естественным регулятором – озером Ильмень.

Водные ресурсы Волховского водохранилища используются для хозяйственных нужд Ленинградской и Новгородской областей, в том числе для энергетики, судоходства, промышленности, жилищно-коммунального,

рыбного и сельского хозяйства и рекреации.

Основными водопользователями с изъятием стока в бассейне Волховского водохранилища являются: теплоэнергетика, коммунальное хозяйство, промышленность, рыбоводство и прочие отрасли; без изъятия - гидроэнергетика, рыболовство, рекреация и водный транспорт.» [24].

В таблицах 3.4 показаны характеристики Волховского водохранилища, взятые из ПИВР Волховского водохранилища

Таблица 3.4 – Характеристики Волховского водохранилища, взятые из ПИВР Волховского водохранилища [24]

Характеристика	Ед. измерения	Значение
Нормальный подпорный уровень (НПУ)	м	15,54
Форсированный подпорный уровень (ФПУ)	м	17,67
Уровень мертвого объема (УМО)	м	14,50
Объем при НПУ	млн. м <sup>3</sup>	264,0
Объем при УМО	млн. м <sup>3</sup>	209,0
Объем при ФПУ	млн. м <sup>3</sup>	431
Площадь водохранилища при НПУ	км <sup>2</sup>	58
Площадь водохранилища при УМО	км <sup>2</sup>	49,6
Площадь водохранилища при ФПУ	км <sup>2</sup>	108
Напор расчетный	м	10,5

Водохранилище эксплуатируется с уже оптимальным объемом, поэтому расчеты только подтвердили используемый сейчас полезный объем, при

котором наблюдается максимум чистого дохода (рис. 3.4).

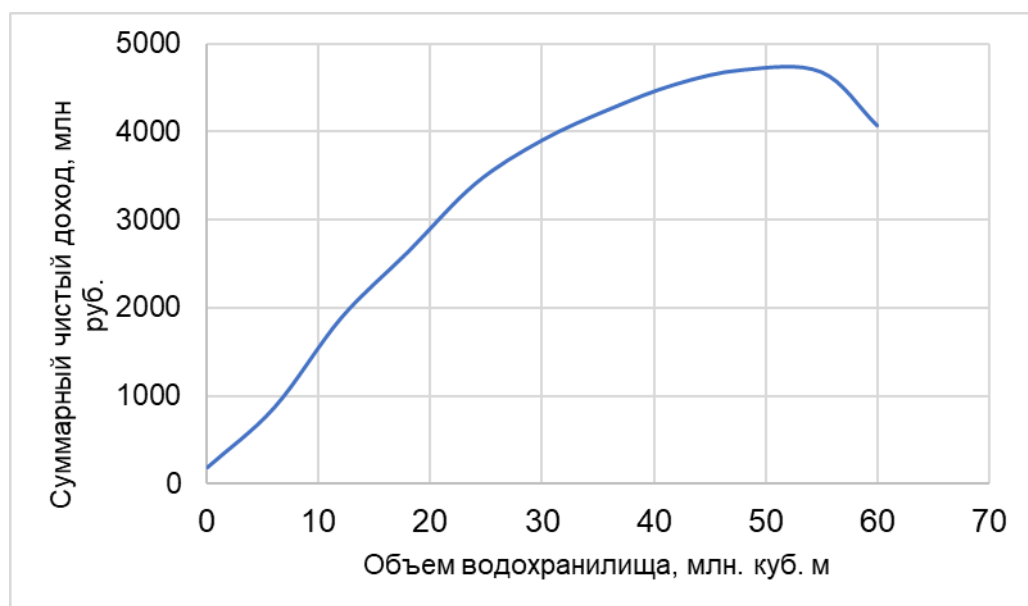


Рисунок 3.4 – Зависимость суммарного чистого дохода от объемов полезной емкости Волховского водохранилища.



Таблица 3.5 – Варианты оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением

вар.	V <sub>1</sub> , млн м <sup>3</sup> /А 1		уор р./га W ор		п ор	M, м <sup>3</sup> /га Д ор, млн А 2		з уд ор	V ор	З ор, млн	ЧД ор, мл	Wгэс, млн	Wэк	Vмо	Упол.и, м	ВБ, м	Wгэс+Wэк Q, м <sup>3</sup> /с	НБ, м	Н, м	с ГЭС	Д гэс, мл/А3	з уд.ГЭС	З гэс, млн	ЧД гэс, м	ΣЧД, млн			
Вариант оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением Vплз = 14 м																												
0	0	1	250000	0	0,85	2350	0	0	60	0	0	0	14	154	20	34	11,24801	168	5,31	3,017429	8,230582	1,75	466,7807	1	25	350	116,7807	116,7807
1	1	0,985816	250000	2	0,85	2350	178,2858	0,038265	60	2	4,591837	173,694	12	154	20	32	11,0916	166	5,27	3,006843	8,084756	1,75	393,009	0,961735	25	288,5204	104,4886	278,1826
2	3	0,958048	250000	3	0,85	2350	259,8961	0,130102	60	3	23,41837	236,4777	11	154	20	31	11,00969	165	5,23	2,996176	8,013511	1,75	357,0835	0,869898	25	239,2219	117,8616	354,3393
3	4	0,944459	250000	4	0,85	2350	341,6129	0,183673	60	4	44,08163	297,5312	10	154	20	30	10,92509	164	5,18	2,982727	7,942362	1,75	321,7392	0,816327	25	204,0816	117,6576	415,1888
4	5	0,931063	250000	6	0,85	2350	505,1511	0,242347	60	6	87,2449	417,9062	8	154	20	28	10,74709	162	5,14	2,971874	7,775213	1,75	251,9745	0,757653	25	151,5306	100,4439	518,3501
5	7	0,904837	250000	7	0,85	2350	572,7428	0,375	60	7	157,5	415,2428	7	154	20	27	10,65326	161	5,1	2,960937	7,692322	1,75	218,1272	0,625	25	109,375	108,7522	523,995
6	8	0,892003	250000	9	0,85	2350	725,9387	0,44898	60	9	242,449	483,4897	5	154	20	25	10,4547	159	5,06	2,949913	7,504787	1,75	152,0067	0,55102	25	68,87755	83,12912	566,6188
7	10	0,866878	250000	10	0,85	2350	783,879	0,612245	60	10	367,3469	416,532	4	154	20	24	10,34938	158	5,01	2,93601	7,413369	1,75	120,124	0,387755	25	38,77551	81,34852	497,8805
8	11	0,854582	250000	11	0,85	2350	850,0363	0,701531	60	11	463,0102	387,0261	3	154	20	23	10,23958	157	4,97	2,924788	7,314787	1,75	88,89498	0,298469	25	22,3852	66,50978	453,5359
9	14	0,818731	250000	14	0,85	2350	1036,478	1	60	14	840	196,4783	0	154	20	20	9,878989	154	4,88	2,899203	6,979786	1,75	0	0	25	0	0	196,4783
Вариант оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением Vплз = 27 м																												
0	0	1	250000	0	0,85	2350	0	0	60	0	0	0	27	154	20	47	12,08338	181	5,74	3,126443	8,956938	1,75	979,6651	1	25	675	304,6651	304,6651
1	3	0,978023	250000	4	0,85	2350	353,753	0,061728	60	4	14,81481	338,9381	23	154	20	43	11,8539	177	5,65	3,104318	8,749579	1,75	815,2096	0,938272	25	539,5062	275,7034	614,6415
2	5	0,96364	250000	6	0,85	2350	522,8262	0,109739	60	6	39,30617	483,32	21	154	20	41	11,73102	175	5,57	3,084353	8,646663	1,75	735,5668	0,890261	25	467,3868	268,18	751,5
3	8	0,942462	250000	9	0,85	2350	767,004	0,192044	60	9	103,7037	663,3003	18	154	20	38	11,53497	172	5,48	3,061547	8,473425	1,75	617,8539	0,807956	25	363,5802	254,2737	917,5739
4	11	0,92175	250000	13	0,85	2350	1083,546	0,286694	60	13	223,6214	859,9249	14	154	20	34	11,24801	168	5,4	3,040959	8,207052	1,75	465,4462	0,713306	25	249,6571	215,7892	1075,714
5	14	0,901492	250000	16	0,85	2350	1304,287	0,39369	60	16	377,9424	926,3444	11	154	20	31	11,00969	165	5,31	3,017429	7,992258	1,75	356,1365	0,60631	25	166,7353	189,4013	1115,746
6	16	0,888235	250000	20	0,85	2350	1606,383	0,471879	60	20	566,2551	1040,128	7	154	20	27	10,65326	161	5,23	2,996176	7,657083	1,75	217,1279	0,528121	25	92,42112	124,7068	1164,835
7	19	0,868715	250000	22	0,85	2350	1728,187	0,599451	60	22	791,2757	936,9116	5	154	20	25	10,4547	159	5,14	2,971874	7,482825	1,75	151,5619	0,400549	25	50,06859	101,4933	1038,405
8	22	0,849623	250000	24	0,85	2350	1843,862	0,739369	60	24	1064,691	779,1706	3	154	20	23	10,23958	157	5,05	2,947144	7,292432	1,75	88,6233	0,260631	25	19,54733	69,07597	848,2465
9	27	0,818731	250000	27	0,85	2350	1998,922	1	60	27	1620	378,9224	0	154	20	20	9,878989	154	4,88	2,899203	6,979786	1,75	0	0	25	0	0	378,9224
Вариант оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением Vплз = 41 м																												
0	0	1	250000	0	0,85	2350	0	0	60	0	0	0	41	154	20	61	12,75605	195	6,18	3,229846	9,526209	1,75	1582,189	1	25	1025	557,1886	557,1886
1	4	0,980677	250000	4	0,85	2350	354,7129	0,05354	60	4	12,84949	341,8634	37	154	20	57	12,58107	191	6,05	3,200082	9,380991	1,75	1406,063	0,94646	25	875,4759	530,5869	872,4504
2	8	0,961727	250000	9	0,85	2350	782,6823	0,116597	60	9	62,96252	719,7198	32	154	20	52	12,34421	186	5,92	3,169671	9,174538	1,75	1189,292	0,883403	25	706,7222	482,5697	1202,29
3	12	0,943144	250000	16	0,85	2350	1364,548	0,189173	60	16	181,6062	1182,942	25	154	20	45	11,97119	179	5,79	3,138585	8,832604	1,75	894,5056	0,810827	25	506,7668	387,7388	1570,681
4	16	0,924919	250000	20	0,85	2350	1672,726	0,271267	60	20	325,5205	1347,206	21	154	20	41	11,73102	175	5,66	3,106793	8,624222	1,75	733,6578	0,728733	25	382,5848	351,073	1698,279
5	21	0,902633	250000	25	0,85	2350	2040,527	0,387269	60	25	580,9042	1459,623	16	154	20	36	11,39548	170	5,53	3,074263	8,321216	1,75	539,3381	0,612731	25	245,0922	294,2459	1753,869
6	25	0,885192	250000	31	0,85	2350	2481,361	0,490779	60	31	912,8495	1568,512	10	154	20	30	10,92509	164	5,4	3,040959	7,884131	1,75	319,3803	0,509221	25	127,3052	192,0751	1760,587
7	29	0,868087	250000	33	0,85	2350	2590,408	0,603807	60	33	1195,538	1394,87	8	154	20	28	10,74709	162	5,27	3,006843	7,740245	1,75	250,8413	0,396193	25	79,23855	171,6027	1566,473
8	33	0,851313	250000	37	0,85	2350	2848,275	0,726353	60	37	1612,504	1235,771	4	154	20	24	10,34938	158	5,14	2,971874	7,377505	1,75	119,5429	0,273647	25	27,36466	92,17823	1327,949
9	41	0,818731	250000	41	0,85	2350	3035,401	1	60	41	2460	575,4007	0	154	20	20	9,878989	154	4,88	2,899203	6,979786	1,75	0	0	25	0	0	575,4007
Вариант оптимизации водораспределения между ГЭС и орошением Vплз = 54 м																												
0	0	1	250000	0	0,85	2350	0	0	60	0	0	0	54	154	20	74	13,25449	208	6,59	3,319775	9,934713	1,75	2173,219	1	25	1350	823,2185	823,2185
1	5	0,981652	250000	9	0,85	2350	798,8976	0,050583	60	9	27,31481	771,5827	45	154	20	65	12,91992	199	6,42	3,283185	9,636734	1,75	1756,696	0,949417	25	1068,094	688,6021	1460,185
2	11	0,960078	250000	17	0,85	2350	1475,865	0,122599	60	17	125,0514	1350,813	37	154	20	57	12,58107	191	6,25	3,245614	9,335458	1,75	1399,238	0,877401	25	811,5955	587,6427	1938,456
3	16	0,942462	250000	26	0,85	2350	2215,789	0,192044	60	26	299,5885	1916,201	28	154	20	48	12,1377	182	6,08	3,207007	8,930692	1,75	1012,972	0,807956	25	565,5693	447,4027	2363,604
4	22	0,92175	250000	33	0,85	2350	2750,541	0,286694	60	33	567,6543	2182,886	21	154	20	41	11,73102	175	5,91	3,167304	8,563712	1,75	728,5102	0,713306	25	374,4856	354,0246	2536,911
5	27	0,904837	250000	38	0,85	2350	3109,175	0,375	60	38	855	2254,175	16	154	20	36	11,39548	170	5,74	3,126443	8,269036	1,75	535,956	0,625	25	250	285,956	2540,131
6	32	0,888235	250000	42	0,85	2350	3373,405	0,471879	60	42	1189,136	2184,269	12	154	20	32	11,0916	166	5,57	3,084353	8,007246	1,75	389,2411	0,528121	25	158,4362	230,8049	2415,074
7	38	0,868715	250000	46	0,85	2350	3613,483	0,599451	60	46	1654,486	1958,997	8	154	20	28	10,74709	162	5,4	3,040959	7,706129	1,75	249,7357	0,400549	25	80,10974	169,6259	2128,623
8	43	0,852775</																										

## Заключение

В ходе работы была разработана геопространственная база данных гидрологических характеристик для Северо-Западного региона, включая методы приведения уровней воды к единой системе координат. Проведен анализ существующих источников данных и конкурентов, что позволило выделить ключевые преимущества проекта: оперативность, точность и удобство визуализации.

Для прогнозирования уровней воды были апробированы методы линейной тенденции и множественной регрессии, показавшие высокую эффективность. Разработанная интерактивная карта с возможностью ежедневного обновления данных и оповещения об опасных явлениях станет ценным инструментом для жителей, предприятий и государственных служб.

Экономическое обоснование подтвердило целесообразность проекта, а бизнес-план *outlined* пути коммерциализации продукта. Внедрение системы позволит снизить риски, связанные с наводнениями, и оптимизировать использование водных ресурсов.

Дальнейшее развитие проекта может включать расширение функционала карты, интеграцию с другими сервисами и углубленный анализ данных для долгосрочного прогнозирования. Реализация этой системы внесет значительный вклад в безопасность и устойчивое развитие региона.

## Список используемых источников

1. Emercit Map [Электронный ресурс]. URL: <http://map.emercit.com/> (дата обращения: 25.05.2025).
2. Flood Map (FireTree) [Электронный ресурс]. URL: <https://flood.firetree.net/> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Gismeteo Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gismeteo.ru/maps/> (дата обращения: 25.05.2025).
4. MeteoBlue Content [Электронный ресурс]. URL: <https://content.meteoblue.com/> (дата обращения: 25.05.2025).
5. USGS WaterWatch [Электронный ресурс]. URL: <https://waterwatch.usgs.gov> (дата обращения: 25.05.2025).
6. Половко А.М., Бутусов П.Н. (2004) Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации
7. АИС ГМВО [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 25.05.2025).
8. Квасов Б.И. (2011), Методы изогеометрической аппроксимации сплайнами
9. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия / В.Д. Быков, А.В. Васильев. — М.: Высшая школа, 1984. — 312 с.
10. Вида Аташи, Хамед Тахери Горджи, Сейед Моджтаба Шахаби, Рамтин Кардан, Йео Хоу Лим, «Прогнозирование уровня воды с использованием анализа временных рядов глубокого обучения: исследование на реке Красной, Северная Америка», Water, том 14, выпуск 12, 2022, стр. 1971, ISSN 2073-4441, DOI: 10.3390/w14121971
11. Галямина, И.Г. Управление водохозяйственными системами [Текст] / Галямина И.Г., Матвеева Т.И., Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Глазунова И.В., Бакштанин А.М. — 2-е изд., перераб и доп. — Москва: ООО «Мегаполис», 2020. — 127 с.

12. Дж.А. Борд мл., Л.В. Кале, К. Шультен и др., «Многоуровневое суммирование с В-сплайн интерполяцией для парного взаимодействия в молекулярной динамике», *Journal of Computational Chemistry*, том 37, № 8, 2016, ISSN
13. Грек Елена, Журавлев Сергей, «Моделирование наводнений, вызванных дождями, в малых водосборах (река Полометь, Северо-Запад России) с использованием данных дождемеров и радаров», *Hydrology*, том 7, выпуск 4, 2020, ISSN 2306-5338, DOI: 10.3390/hydrology7040092
14. Жолт Вижи, Бенце Батки, Левенте Ратки, Сом Сабо, Ференц Иштван, Кристина Пал, Тимеа Киш, «Прогнозирование уровня воды с использованием модели нейронной сети с долгосрочной краткосрочной памятью для равнинной реки: исследование на реке Тиса, Центральная Европа», *Environmental Sciences Europe*, 2023, ISSN 2190-4715, DOI: 10.1186/s12302-023-00796-3
15. Илматеенистус [Электронный ресурс]. Эстонский гидрометеорологический сайт. URL: <https://www.ilmateenistus.ee/?lang=ru> (дата обращения: 25.05.2025).
16. Карта глубин грунтовых вод [Электронный ресурс]. Вода-Ст. URL: <https://voda-st.ru/articles/karta-glubin-gruntovykh-vod/> (дата обращения: 25.05.2025).
17. Ли Л., Хуанг Г., «Картирование уровня грунтовых вод с использованием многоточечной геостатистики», *Water*, 2016, 8, 400, DOI: 10.3390/w8090400
18. Самполи М.Л., «Многоуровневая квадратичная сплайн квази-интерполяция», *Applied Mathematics and Computation*, том 374, 2020, ISSN 0096-3003, DOI: 10.1063/5.0043935
19. Марк Омер, Таня Лиш, Надин Гёпперт, Нико Гольдшайдер, «Оптимальный выбор методов интерполяции для построения контуров грунтовых вод: пример распространения неопределенности в отношении обмена между

- водоносными горизонтами», *Advances in Water Resources*, том 109, 2017, стр. 121-132, ISSN 0309-1708, DOI: 10.1016/j.advwatres.2017.08.016
20. Ермолаев О., Мухарамова С., Веденеева Е., «Моделирование речного стока на европейской территории России», *CATENA*, том 203, 2021, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2021.105327
21. Ермолаев О., Мухарамова С., Веденеева Е., «Моделирование речного стока на европейской территории России», том 203, 2021, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2021.105327
22. Ермолаев О., Мухарамова С., Веденеева Е., «Моделирование речного стока на европейской территории России», том 203, 2021, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2021.105327
23. Портер П.С., Рао С.Т., Хогреф К., «Анализ линейных трендов: сравнение методов», *Atmospheric Environment*, том 35, выпуск 30, 2001, стр. 5211-5222, ISSN 1352-2310, DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00342-9
24. Правила использования водных ресурсов Волховского водохранилища [Текст] / под рук. Кириллова Д.М. – Федеральное агентство водных ресурсов, 2024. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56895954/> (дата обращения 10.01.2025)
25. Борщ С., Симонов Ю., «Оперативная система гидрологических прогнозов в России», в книге «Прогнозирование наводнений: глобальная перспектива», под ред. Т.Е. Адамса, Т.С. Пагано, Elsevier, 2016, стр. 169-181, ISBN 9780128018842, DOI: 10.1016/B978-0-12-801884-2.00007-4
26. Ли С., Вольберг Г., Шин С.Ю., «Интерполяция разбросанных данных с использованием многоуровневых В-сплайнов», *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, том 3, № 3, 1997, ISSN 1077-2626, DOI: 10.1016/j.image.2024.117237
27. Сенлин Чжу, Бахрудин Хрньица, Мариуш Птак, Адам Хоиньски, Белли Сивакумар, «Прогнозирование уровня воды в нескольких умеренных

- озерах с использованием моделей машинного обучения», *Journal of Hydrology*, том 585, 2020, ISSN 0022-1694, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124819
28. Чиу Т.К., Тао Н.Т.П., Хюэ Д.Т., Хыюнг Н.Т.Т., «Прогнозирование уровня воды на реке Кьен Гианг на основе регрессионных методов», *River Research and Applications*, 2024, ISSN 1535-1467, DOI: 10.1002/rvr.2.71
29. Тхань-Тунг Нгуен, Куинь Нгуен Хыу, «Прогнозирование временных рядов уровней воды на реке Меконг с использованием моделей машинного обучения», в материалах Седьмой международной конференции по знаниям и системной инженерии (KSE), IEEE, 2015, стр. 308-313, ISBN 978-1-4673-8013-3, DOI: 10.1109/KSE.2015.40
30. ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorb.ru/> (дата обращения: 25.05.2025).
31. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.nw.ru/> (дата обращения: 25.05.2025).
32. ФГБУ «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <https://cugms.ru/> (дата обращения: 25.05.2025).
33. Ли Ю., Вэй К., Чэнь К., Хэ Дж., Чжао Ю., Ян Г., Яо Н., Ню Б., Ван Б., Ван Л., Фэн П., Ян З., «Прогнозирование месячного дефицита воды на основе моделей множественной линейной регрессии и случайного леса», *Water*, том 15, выпуск 6, 2023, стр. 1075, ISSN 2073-4441, DOI: 10.3390/w15061075