

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ДонГТУ»

На правах рукописи

БАКУМЕНКО ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОЕМОВ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ И
ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Специальность 1.6.21 — Геоэкология (географические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель: доцент кафедры ЭБЖД
ФГБОУ ВО «ДонГТУ»
к.т.н., доцент Подлипенская Лидия Евгеньевна

Список сокращений и обозначений

РФ	— Российская Федерация;
ЛНР	— Луганская Народная Республика;
ДНР	— Донецкая Народная Республика;
СССР	— Союз Советский Социалистических Республик;
ООО «ЮГМК»	— Общество с ограниченной ответственностью «Южный горно-металлургический комплекс»;
ЦВП	— Цех водоподготовки;
ХБЛ	— Химико-бактериологическая лаборатория;
ФГБОУ ВО «ДонГТУ»	— Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасский государственный технический университет»;
ГУП ЛНР «Луганск-вода»	— Государственное унитарное предприятие Луганской Народной Республики «Лугансквода»;
ГУП «Луганскгаз»	— Государственное унитарное предприятие Луганской Народной Республики «Луганскгаз»;
НД	— Нормативный документ;
ГСТУ	— Государственный стандарт Украины;
СанПиН	— Санитарные нормы и правила;
РД	— Руководящий документ;
ОЭБ	— Обеспечение экологической безопасности;
ПДС	— Предельно допустимый сброс;
ПДК	— Предельно-допустимая концентрация;
КИЗВ	— Комбинаторный индекс загрязнённости воды;
УКИЗВ	— Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды;
ИЗВ	— Индекс загрязнения воды;
МО	— Микроорганизмы
ОМЧ	— Общее микробное число;
pH	— Водородный показатель;
БПК	— Биологическое потребление кислорода;
ХПК	— Химическое потребление кислорода;
РК	— Растворенный кислород;
ХП	— Хлорпоглощение.

Оглавление

Введение	6
Глава 1. Анализ проблемных вопросов обеспечения экологической безопасности использования водных ресурсов Луганской народной республики и постановка задач исследования	13
1.1 Анализ физико-географических и хозяйственно-географических условий Луганской Народной Республики в аспекте обеспечения экологической безопасности водных ресурсов...	13
1.2 Анализ изученности вопроса ОЭБ водохранилищ ЛНР	33
1.3 Анализ проблемных вопросов обеспечения экологической безопасности и постановка задач исследования	34
1.4 Выводы по главе 1	37
Глава 2. Разработка научных средств для составления системы геоэкологической оценки водоемов многофункционального назначения.....	40
2.1 Исходные данные для исследований.....	40
2.2 Методы оценки динамики изменения качества воды.....	43
2.3 Методики определения качества воды с использованием расчетных индексов	55
2.3.1 Оценка качества воды по гидрохимическим показателям.....	55
2.3.2 Оценка качества воды по гидробиологическим показателям.....	57
2.4 Теоретические основы выполнения оценки качества воды водоема по направлениям использования.....	61
2.4.1 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как сырья для производства питьевой воды	61
2.4.2 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для предприятий металлургического производства и коммунальных служб.....	64
2.4.3 Оценка водоема как объекта рекреации.....	65
2.4 Выводы по главе 2.....	76
Глава 3. Научный результат 1 — Система геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики в современных условиях с учетом многоцелевого использования водных объектов	78
3.1 Оценка экологической безопасности по отдельным показателям.....	78
3.2 Результаты оценки качества воды по расчетным индексам за 2014-2022 гг.....	79
3.2.1 Качество воды по гидрохимическим показателям.....	79

3.2.2	Качество воды и состояние водоема, рассчитанное по индексу сапробности воды	84
3.3	Оценка качества и пригодности воды по направлениям использования.....	88
3.3.1	Оценка качества воды Исаковского водохранилища как сырья для производства питьевой воды	88
3.3.2	Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для предприятий металлургического производства и коммунальных служб.....	93
3.3.3	Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для сельского хозяйства и рекреации	94
3.3.4	Результаты оценки водоемов как объектов рекреации по разработанной методике на примере сравнения водоемов Перевальского района и г. Алчевска. Рекреационный потенциал водоемов Перевальского района.....	95
3.4	Геоэкологическая оценка Исаковского водохранилища, как водоема многоцелевого использования.....	101
	Выводы по главе 3.....	105
	Глава 4. Научный результат 2 — Корреляционные и регрессионные связи между показателями качества воды водоемов. Результаты математического моделирования динамики изменения показателей качества воды из поверхностных источников	108
4.1	Корреляционные связи между показателями качества воды Исаковского водохранилища.....	108
4.1.1	Корреляционные связи между показателями суточных изменений качества воды	108
4.1.2	Корреляционные связи между показателями качества воды по массиву месячных данных.....	112
4.2	Исследование динамики содержания растворенного кислорода с использованием статистического подхода.....	115
4.3	Исследование динамики содержания БПК ₅ с использованием статистического подхода ...	122
4.4	Результаты исследования качества воды Исаковского водохранилища с помощью индекса самоочищения.....	126
4.5	Вывод по главе 4	129
	Глава 5. Научный результат 3 — Методика оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке и разработка рекомендаций по водоочистке для повышения экологической безопасности использования водных объектов. Результаты математического моделирования динамики изменения количества хлорсодержащих компонентов при водоочистке в зависимости от качества исходной воды.....	131

5.1 Методика оценки эффективности технологии водоочистки	131
1.1 Оптимизация технологической схемы очистки воды окислительными методами из Исаковского водохранилища	135
5.2.1 Описание источника водных ресурсов. Характеристика предприятия по очистке воды ..	135
5.2.2 Определение объемов производства воды.....	136
5.2.3 Описание действующей технологической схемы очистки воды в ЦВП ООО «ЮГМК»...138	
5.2.4 Реагентная обработка воды	140
5.2.5 Недостатки схемы водоподготовки.....	144
5.2.6 Результаты статистической обработка данных технологического контроля. Разработка рекомендаций	144
5.3 Вывод по главе 5.....	151
Заключение	153
Список используемых источников	155
Приложение А	166
Приложение Б.....	167
Приложение В.....	171
Приложение Г	173
Приложение Д.....	174
Приложение Е.....	179
Приложение Ж.....	181

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. По запасам водных ресурсов Луганская Народная Республика (ЛНР) является недостаточно обеспеченной, что связано как с природными, так и с антропогенными факторами. Особенностью водного режима рек Республики является неравномерное распределение стока в течение года. Объем неочищенные сточные воды превышают ПДС, местные водные ресурсы не обеспечивают их разбавления, не дают возможности поддерживать должное санитарно-экологическое состояние водных объектов [120].

В современных условиях процессы развития и преобразования водных экосистем протекают значительно быстрее, чем раньше. Это обусловлено в основном не естественными факторами, действующими в масштабе геологического времени, а антропогенными. Принимаемые меры по восстановлению нарушенных водных экосистем должны проводиться с учетом степени их деградации, оценки процессов эвтрофикации и самоочищения водоемов.

При нарушении экологического равновесия экосистемы изменяется качество воды и, следовательно, условия водопользования. В то же время, водные объекты испытывают огромный антропогенный пресс. Из-за их многофункционального использования (питьевое, хозяйственно-бытовое, промышленное водоснабжение; прием сточных и дренажных вод; использование в лечебных целях и рекреация; рыбное хозяйство; гидроэнергетика, гидротехническое строительство и многое другое) нарушается их нормальное функционирование.

Степень разработанности. Тема геоэкологической оценки водоемов исследована неравномерно по разным направлениям использования водоемов. Зачастую, исследования водоемов носят покомпонентный характер, направлены на определенный вид водопользования. Малые водоемы практически не изучены с точки зрения геоэкологии. Теоретически и методологически исследования опираются на фундаментальные труды и концепции ведущих ученых в области геоэкологии, лимнологии и природопользования, таких как: В.А. Абакумов, О.А. Алекин, Г.М. Баренбойм, В.И. Данилов-Данильян, С.М. Драчев, А.А. Дмитриев, В.А. Жигульский, Р. Кромер, А.А. Музалевский, Н.Ф. Реймерс, Г.С. Розенберг, И.С. Румянцев, В.И. Сметанин, Ф.В. Столберг, Г.Т. Фрумин, М.П. Федоров и др. Вопросами водных ресурсов на территории ЛНР занимались Г.В. Аверин, А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, В.Е. Закруткин, В.И. Жадан, А.А. Крамаренко, О.П. Фисуненко и др., однако комплексная геоэкологическая оценка водоемов в связи с их многоцелевым использованием не рассматривалась.

Актуальность темы исследования определяется тем, что большинство исследований зачастую являются разрозненными, покомпонентными и не дают интегральной геоэкологической оценки состояния водных объектов. В большинстве методик не учитываются причины происходящих в водных экосистемах изменений, так как не осуществляется геоэкологическая оценка водосборной территории и условий окружающей среды, оказывающих воздействие на водоем. Кроме этого, оценка состояния водоемов не рассматривается с точки зрения объектов водопользования [29].

Для повышения экологической безопасности в области использования и охраны водных объектов необходимо регулярно осуществлять наблюдения за экологическим состоянием водоемов, водотоков и выполнять их геоэкологическую оценку с учетом техногенной нагруженности, а также особенностей регионального и локального водопользования.

Особенно актуален мониторинг водных объектов в промышленных центрах с высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду. В Луганской Народной Республике к таким центрам относится Алчевско-Стахановская агломерация, имеющая на своей территории угольные шахты и предприятия черной металлургии. Эти промышленные объекты оказывают негативное воздействие на окружающую среду края и в значительной мере затрагивает объекты гидросферы.

С 2024 года в ЛНР начаты работы по восстановлению водных объектов в рамках федерального проекта «Ликвидация локальных дефицитов водных ресурсов» государственной программы России «Воспроизводство и использование природных ресурсов». Для повышения экологической безопасности в области использования и охраны водных объектов необходимо регулярно осуществлять наблюдения за экологическим состоянием водоемов и водотоков, а также выполнять их геоэкологическую оценку с учетом техногенной загруженности и особенностей регионального и локального водопользования.

В настоящее время основными экологическими проблемами ЛНР, возникающими в сфере водопотребления и водопользования, являются:

– дефицит водных ресурсов, поскольку начиная с 2014 г. в Луганской Народной Республике произошли существенные сдвиги в системе водопользования и водопотребления, приведшие к увеличению значения поверхностных вод водоемов в объеме производства питьевой воды и использования их для рекреационных целей;

– увеличение загрязненности поверхностных вод, связанное с их более интенсивным использованием в промышленности и населением, а также с устареванием очистных технических сооружений и снижением контроля со стороны природоохранных организаций;

– недостаточная изученность экологического состояния водных объектов ЛНР в связи с уменьшением объемов их исследований, отсутствием системного подхода к геоэкологической оценке с учетом не только качества воды, но и других влияющих факторов.

В связи с этим направление исследований, связанное с изучением экологического состояния водных объектов ЛНР, возможностью их самоочищения и самовосстановления, разработкой возможных путей повышения экологической безопасности при использовании водных ресурсов, является актуальным.

Целью диссертационной работы является разработка системы геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики и обоснование подхода к управлению качеством питьевой воды, производимой из поверхностных вод, способствующего повышению экологической безопасности при использовании водоемов.

Объект исследования — водоемы Луганской Народной Республики.

Предмет исследования — разработка методов и подходов к проведению геоэкологического анализа водоемов многоцелевого назначения и обоснование направлений по повышению экологической безопасности при их использовании.

В соответствии с целью сформулированы следующие **задачи**:

1. Выявить проблемы экологической безопасности использования водных ресурсов Луганской Народной Республики.

2. Провести анализ существующих методов геоэкологической оценки водоемов по направлениям использования и разработать систему показателей для геоэкологической оценки водоемов многоцелевого назначения.

3. Разработать систему оценки экологического состояния водоемов ЛНР с учетом их целевого назначения, особенностей функционирования и рационального использования.

4. Исследовать статистические связи между показателями качества воды Исаковского водохранилища и разработать математические модели динамики их изменения.

5. Разработать и обосновать подход для управления качеством питьевой воды, производимой из поверхностных вод, способствующий повышению экологической безопасности в области использования водоемов.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые:

– выявлены характерные особенности механизма самоочищения Исаковского водохранилища на основе статистического анализа концентраций растворенного кислорода, биологического потребления кислорода и микробиологических показателей самоочищения и влияющих на них показателей;

– выполнена идентификация сезонных компонент временных рядов и построены регрессионные модели показателей качества поверхностных вод Исаковского водохранилища;

– установлены регрессионные зависимости технологических показателей производства воды из поверхностных вод водохранилища от показателей качества исходной воды, забираемой из водоема, и прочих показателей, характеризующих условия использования поверхностных вод водоема;

– разработана система комплексной геоэкологической оценки водоемов с учетом направлений и объемов их фактического использования. В работах других исследователей данный вопрос охватывал лишь качество воды без учета фактического использования и безопасности для пользователей и биогеоценозов в целом.

Теоретическая значимость исследования в том, что разработанные математические модели, алгоритмы для геоэкологической оценки состояния водных объектов многоцелевого назначения имеют достаточно универсальный характер и могут быть использованы как модели-аналоги для построения системы управления водными объектами в других районах ЛНР и регионах Российской Федерации.

Практическая значимость результатов исследования:

– разработанные алгоритмы геоэкологической оценки водоемов с учетом их многоцелевого назначения применимы как для водоемов ЛНР, так и водоемов других субъектов Российской Федерации;

– выявленные цикличности (сезонные и суточные) могут использоваться для своевременного изменения технологии подготовки воды в металлургическом производстве, коммунальном хозяйстве и при производстве питьевой воды в цехе водоподготовки ООО «Южный горно-металлургический комплекс» (ООО «ЮГМК»), а также на предприятиях с производством питьевой воды из поверхностных вод водоемов, использующих метод окисления для очистки и обеззараживания (с поправкой на местные условия).

– установленные корреляционные связи и построенные уравнения множественной регрессии применяются для прогнозирования поглощаемости хлора на первом этапе очистки воды в цехе водоподготовки ООО «ЮГМК». Текущий прогноз по моделям дает возможность своевременно реагировать на изменения в окислительно-восстановительном потенциале воды и выбирать оптимальные схемы очистки при производстве воды из поверхностных источников;

– результаты работы могут быть использованы для принятия управленческих решений в области восстановления водных систем и улучшения качества воды с применением инженерно-технических методов.

Материалы диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «ДонГТУ» в курсе «Гидрохимия и охрана водных ресурсов».

Защищаемые результаты научных исследований частично реализованы в ЦВП ООО «ЮГМК»

Методы исследования и фактический материал. Для решения поставленных задач использовались следующие методы:

- физико-химические и сапро-биологические методы анализа воды;
- описательные;
- статистические методы анализа лабораторно-полевых измерений;
- методы системного, корреляционного, регрессионного анализа и экспертных оценок при оценке параметров математических моделей;
- геоинформационные системы QGIS.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Система геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики в современных условиях с учетом многоцелевого использования водных объектов.

2. Корреляционные связи и регрессионные зависимости между показателями качества воды водоемов. Результаты математического моделирования динамики изменения показателей качества воды из поверхностных источников.

3. Методика оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке и разработка рекомендаций по водоочистке для повышения экологической безопасности использования водных объектов. Результаты математического моделирования динамики изменения количества хлорсодержащих компонентов при водоочистке в зависимости от качества исходной воды.

Обоснованность и достоверность результатов исследований и научных выводов обеспечивается: анализом предшествующих работ в области исследований геоэкологического состояния водоемов ЛНР, значительным объемом обработанного фактического материала, тщательностью отбора и анализа проб в соответствии с принятыми методиками, сопоставимостью проб по объему, применением статистической обработки.

Личный вклад соискателя. Соискатель (1) определил цели и задачи исследования, (2) выполнил обзор публикаций и Интернет-источников по геоэкологической оценке водоемов с учетом их фактического использования; сформировал базу данных по химическим, бактериологическим и сапро-биологическим показателям качества воды; (3) спланировал и провел экспериментальные исследования и обработку их результатов; (4) сформулировал выводы диссертации.

Соответствие диссертации паспорту специальности.

Тема диссертационного исследования и его содержание соответствуют требованиям паспорта специальности ВАК 1.6.21 —«Геоэкология» по следующим пунктам:

п.5 Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны.

п.6 Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли.

п.12 Оценка состояния водного режима территорий и геоэкологические последствия его изменения в связи с изменениями климатических параметров. Геоэкологический анализ влияния регулирования речного стока на водные, прибрежно-водные и наземные экосистемы и обоснование путей сохранения и восстановления водных и наземных экосистем.

Результаты исследований по теме диссертации докладывались на научных семинарах кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, Научного центра экологического мониторинга окружающей среды ФГБОУ ВО «ДонГТУ»; Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Экологический мониторинг и биоразнообразие» (Ишим, 2018 г.); Международной молодежной конференции «Планета — наш дом» (Алчевск, 2020 г.); Научно-технической конференции «Донбасс будущего глазами молодых ученых» (Донецк, 2021 г.); Международной молодежной конференции «Планета — наш дом» (Алчевск, 2021 г.); Международной молодежной конференции «Планета — наш дом» (Алчевск, 2022 г.); IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы социально-экономического и экологического развития региона» (Алчевск, 2022 г.); Юбилейной международной научно-технической конференции «65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации» (Алчевск, 2022 г.); XIX Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2023 г.); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Строительство и техносферная безопасность» (Антрацит, 2024 г.); IX Международной научной конференции «Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызов современности» (Донецк, 2024 г.); VIII Международной научно-технической конференции «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства» (Алчевск, 2024 г.) XI Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса» (Донецк, 2025г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве: 3 работы в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН РФ; 1 – в журнале, индексируемом в Scopus, и др.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из: введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и 7 приложений. Общий объем работы составляет: 182 страницы, включая 58 таблиц, 63 рисунка.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ физико-географических и хозяйственно-географических условий Луганской Народной Республики в аспекте обеспечения экологической безопасности водных ресурсов

География района исследования. Луганская Народная Республика (в границах Луганской области) расположена на юге Восточно-Европейской равнины (Рисунок 1.1).

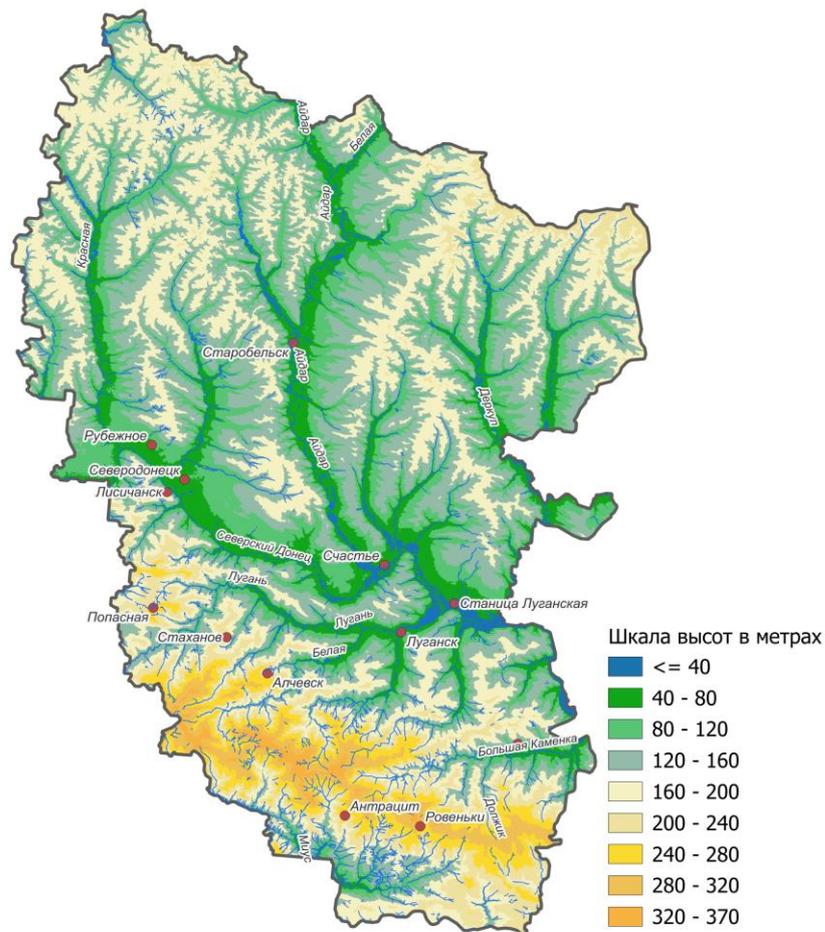


Рисунок 1.1 — Физическая карта Луганской Народной Республики

Луганская Народная Республика граничит на севере с Белгородской областью, северо-востоке – с Воронежской, на востоке – с Ростовской, на северо-западе – с Украиной (Харьковской областью), на западе и юге – с Донецкой Народной Республикой. Луганская Народная Республика занимает площадь 26,7 тыс. км² [138].

Согласно закону ЛНР от 14.03.2023 № 428-III в ЛНР образовано 11 городских 17 муниципальных округов [70]. Перевальский муниципальный округ расположен в центральной части ЛНР. Образован в 1965 году, площадь Перевальского м.о. составляет 722,55 км² (2,7% всей территории ЛНР). Располагается на юго-западе ЛНР, граничит с ДНР (Рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 — Карта схема районирования ЛНР [70]

В геологическом строении территории района принимают участие каменноугольные и четвертичные отложения.

По геологическому строению бассейн реки Белой можно разделить на два района: открытый карбон, где каменноугольные отложения выходят на открытую поверхность, и закрытый карбон, где каменноугольные отложения перекрыты меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями (Рисунок 1.3). Решающая роль принадлежит песчаникам и известнякам, также на поверхность выходят пласты угля. Обнажение коренных пород (песчаников, известняков, глинистых сланцев) хорошо выражены на крутых склонах глубоких балок и оврагов. Отрицательные формы рельефа антропогенного происхождения представлены выемками, образованными при прокладке транспортных магистралей, строительными котлованами, карьерами, чаще всего для добычи строительных материалов и

угля, который добывается не санкционированно. В пределах территорий, где ведется разработка угольных пластов, на поверхности земли образуются провалы, прогибы, отмечается выход на поверхность метана [5, 6, 131, 148].



Рисунок 1.3 — Геологическое строение Луганской Народной Республики [6,138]

Особенности рельефа. ЛНР находится в степной природно-географической зоне на юге Восточноевропейской равнины на территории двух геоморфологических структур: север – на Среднерусской возвышенности, юг – на Донецком кряже, рельеф которого часто усложняется структурно-денудационными формами, что создает определенную трудность для хозяйственной деятельности (Рисунок 1.4). В Республике характерными являются степные расчлененные ландшафты, которые представлены сильно расчлененными возвышенностями и речными долинами. Перепад высот составляет более 300 м. В ландшафте присутствуют разнообразные могилы, среди которых есть наивысшая точка - гора Могила Мечетная (367 м над уровнем моря). Долина главной водной артерии региона реки Северский Донец имеет асимметричное строение, обусловленное крутым скалистым склоном и пологим

террасированным левым берегом. Ширина реки от 4 км до 24 км. На территории ЛНР находится значительное количество терриконов. Поверхность Республики представляет собой волнистую равнину, расчленённую речными долинами. На территории ЛНР частично располагается Донецкий кряж. Средняя высота поверхности равняется 200-300 м над уровнем моря. Наивысшая точка ЛНР (и всего Донбасса) — возвышенность Могила Мечетная (367,1 м над уровнем моря). [5, 85, 86, 131].

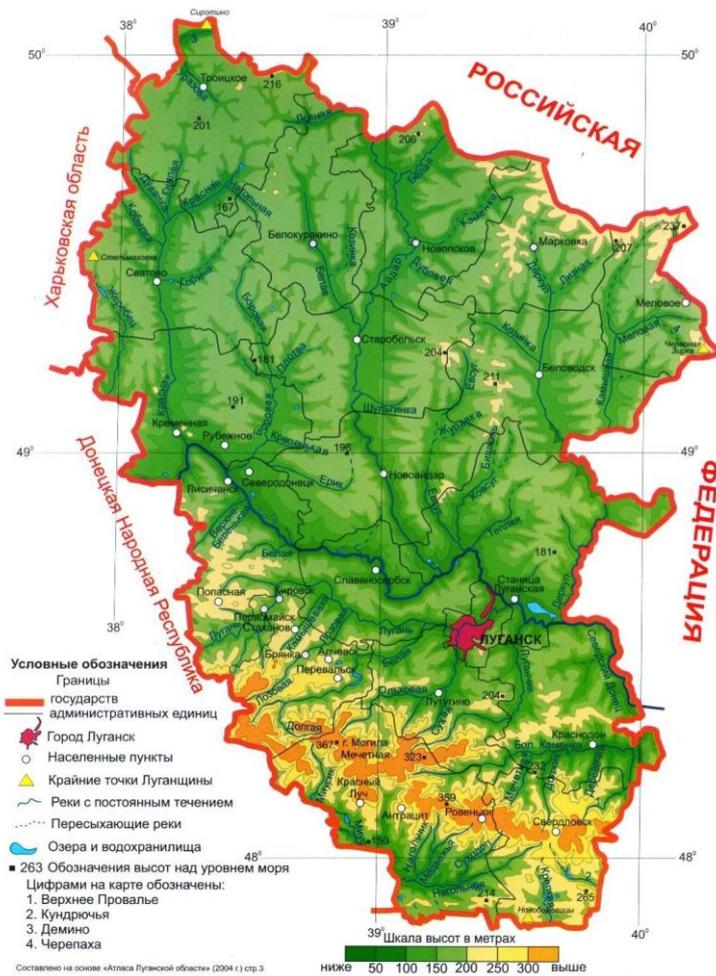


Рисунок 1.4 — Рельеф Луганской Народной Республики [134]

Гидрографическая сеть в районе Донецкого кряжа подчинена его сложной складчато-сбросовой тектонике. Реки текут в южном и юго-восточном направлениях по простиранию складок и трещиноватостям горных пород Донецкого кряжа.

По территории республики протекает 96 рек общей протяженностью 3173 км, из них:

- больших рек – 1 (река Северский Донец, длиной в пределах Луганщины 265 км),
- средних – 7 (Айдар, Деркул, Лугань, Красная, Полная, Кундрючья, Миус - общей длиной 750 км),
- малых – 88, общей длиной 2158 км.

Все реки относятся к трем бассейнам [5]: бассейн реки Северский Донец (площадь водосбора 24643 км²); бассейн Азовского моря (река Миус с её притоками, в пределах ЛНР водосбор 755 км²); бассейн Тузлова (с наименьшей площадью водосбора – 101 км², правый приток реки Дон) (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 — Площадь водозабора по Луганской Народной Республике [73]

Озер в крае около 60, с общим объемом 9,3 млн м³ и площадью зеркала 536 гектаров. По происхождению они представляют собой остатки старых русел («старицы» в пойме крупных рек). Наиболее крупные естественные озёра расположены в долинах рек Северский Донец (Беяевское, Боброво, Медвежье, Волчье) и Айдар (Глубокое, Закотнянское, Плавневое).

Почти все озёра края небольшие, пресноводные и мелкие (глубиной от 2 до 4 метров), часто заиленные и заросшие. Питаются озера ЛНР речными и подземными водами, атмосферными осадками. Уровень воды в них, как и в реках, изменяется по сезонам: весной и осенью - повышается, летом - понижается.

На территории ЛНР функционирует 73 водохранилищ с полным объемом 254,0 млн. м³, из них 4 – с объемом более 10 млн. м³ в реках бассейна Северского Донца [5, 73, 74, 92, 100, 124, 128, 132, 136, 142].

Климат в данной местности резко континентальный, который характеризуется резкими сменами колебания температуры воздуха, сильными восточными ветрами, жарким и сухим летом и малоснежной зимой с частыми оттепелями, туманом, гололедицей [73, 134].

Колебания температуры в столице ЛНР, г. Луганск, в течение года представлены на рисунке 1.6.

Средняя температура воздуха самого теплого месяца плюс 21° С, а самого холодного — минус 26 °С. В октябре и марте наблюдаются туманы, в результате чего ухудшаются условия рассеивания промышленных выбросов [12].

Абсолютный минимум температуры воздуха составляет минус 38°С, абсолютный максимум — плюс 39 °С.

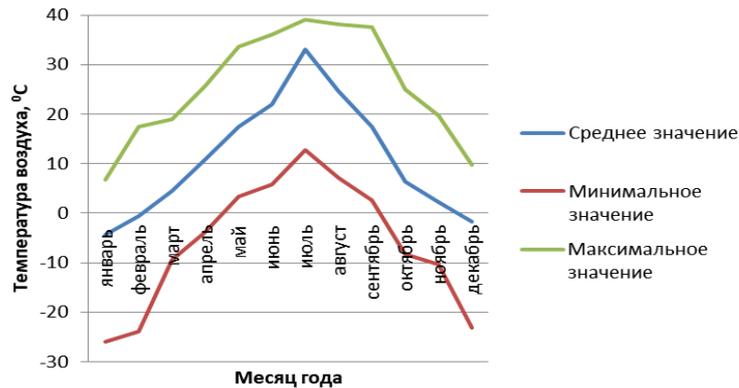


Рисунок 1.6 — Колебания температуры в г. Луганск в течение года [12]

Относительная влажность воздуха в среднем за год составляет 75 %. Колебания влажности по месяцам представлены на графике ниже (Рисунок 1.7).

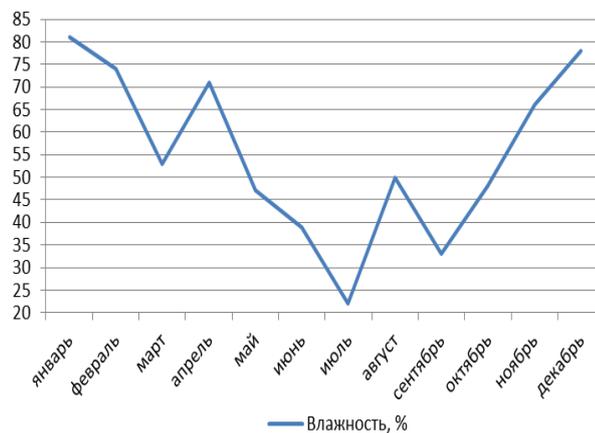


Рисунок 1.7 — Средние значения влажности в регионе по месяцам [12]

Количество осадков за год в среднем составляет 525 мм. Преобладают восточные (16,7 %), юго-восточные (13,4 %) и юго-западные ветры (13,4 %). Роза ветров за год представлена ниже (Рисунок 1.8). Скорость ветра составляет 5,1–5,5 м/с.

Максимальная скорость ветра, которая возможна ежегодно, 23 м/с, один раз в 5–10 лет — 27-29 м/с, один раз в 15-20 лет – 30–32 м/с. На рисунке 1.9 представлено соотношение ясных дней и дней с осадками. Низкое количество осадков приводит к снижению уровня воды в водоемах и водотоках.

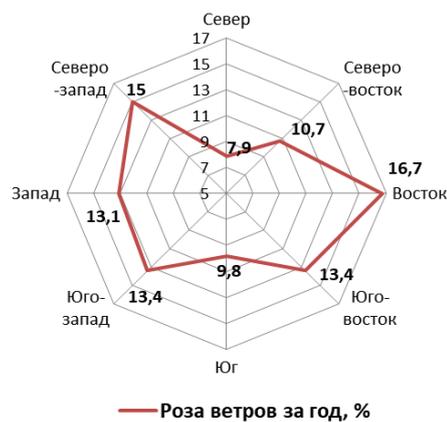


Рисунок 1.8 — Роза ветров в регионе [12]

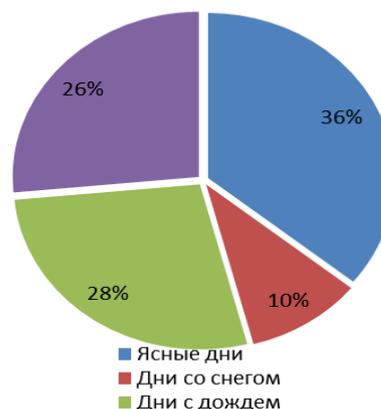


Рисунок 1.9 — Погодные условия в регионе [12]

В то же время вместе с ливневыми водами и талыми снежными водами с поверхности земли в водоемы сносится большое количество мусора и минеральных удобрений с почв вблизи водоемов.

Почвы ЛНР — преимущественно черноземы обыкновенные (81 % площади области), дерновые щебнистые с эродированностью 50-80 %, в долине Северского Донца - черноземные, дерновые, песчаные почвы (эродированность 54-64 %) [6, 138].

Флора и фауна ЛНР [142]. Лесами покрыто 8,6% территории:

- байрачные леса (дуб, ясень, клен, вяз, груша, яблоня);
- пойменные (ольха, осина, тополь, ива);
- водораздельные (дуб, ясень, клен, груша).

Площадь полевых защитных полос - 20,5 тыс. га (акация, дуб, клен и др.).

Фауна Луганской Народной Республики [6, 142] представлена главным образом степными и некоторыми лесными животными, однако, дикая фауна бедна. Насчитывается около 250 видов птиц, 60 - млекопитающих, 9 - пресмыкающихся и 47 - рыб. Из хищников встречаются: волк, лисица, енотовидная собака, ласка и др. Среди грызунов наиболее распространены: заяц, сурок, хомяк, тушканчик, крот и т.д. Из пернатых хищников водятся кобчики, ястребы, орлы-могильники. Лес обильно населен полезными и певчими

птицами: жаворонками, перепелами, соловьями, дятлами, стрижами, ласточками и многими другими. В реках, озерах и прудах много разной рыбы [6, 142].

Воды суши [5, 6]. В ЛНР насчитывается 57 средних и малых рек и до 60 озёр, большинство которых находится на пойменной террасе Северского Донца и питается весенними водами. Озёра непроточны и, как правило, непригодны для водоснабжения, но ценны для рыбозаведения и орошения.

Малые реки бассейна Северского Донца:

– Лугань (длина 196 км),

– Белая (длина 88 км, площадь водосбора 755 км²) и ряд более мелких водотоков.

Склоны рек, балок и оврагов в большинстве своем крутые, местами обрывистые. В гидрографическом отношении рассматриваемая территория приурочена к северному склону главного Донецкого водораздела. Значительная расчлененность рельефа обусловлена разрывом, главным образом, каменноугольных отложений. Водораздельные плато покрыты преимущественно маломощными четвертичными осадками и представляют собой пологие покатые склоны [6, 120, 147]

Для малых рек Донбасса характерно грунтовое питание. Атмосферные осадки существенного влияния на питание рек не оказывают, т.к. велики потери влаги на испарение и фильтрацию [120, 147].

Район исследования – это территория водосбора реки Белая. Свое начало река берет у села Уткино. Русло реки Белая сильно извилистое, неразветвленное. Берега пологие, на протяжении всего участка покрыты кустарниками и небольшими деревьями, которые нередко свисают над водой. Берега в основном устойчивые, слабо размываемые. Дно реки илистое, изредка встречаются глина и песок. Ширина реки в верхнем течении 2 м, в нижнем – 8 м. Максимальная глубина 0,7 м (место впадения в реку балок Толстая и Касьянова) на расстоянии 17 км от истока, в нижнем течении – 0,52-0,54 м.

На участке реки от истока до Исаковского водохранилища в реку Белую впадают: река Чернушка, ручей Парневский, водотоки балок Мечетная, Толстая, Касьянова [5, 142].

Особенности физико-географических условий территории, через которую протекает река Белая, определяют специфические черты формирования природного состава поверхностных вод. Сильные испарения при небольшом количестве осадков, выщелачивание солей из засоленных почв приводит к повышенной минерализации речной воды.

Фактически же сток р. Белая в среднем и нижнем течении формируется в основном шахтными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, которые составляют 98 % меженного стока. Сброс в реку Белая значительных количеств подземных вод среднего

карбона, которые в виде шахтных вод откачиваются на поверхность, вызывают дальнейшее повышение минерализации воды гидрографической сети реки Белая.

Объемы стока в зависимости от водности года составляют: средний многоводный год 25 % - 68,10 млн. м³/год, средний год 50 % - 44,90 млн. м³/год, средний маловодный год 75 % - 27,30 млн. м³/год, маловодный год 95 % - 11,70 млн. м³/год.

Водные ресурсы. Водный потенциал регионов республики состоит из поверхностных и подземных вод. Забор воды для централизованного водоснабжения осуществляется преимущественно из подземных водных объектов и составляет 95 % и только 5 % составляет забор из поверхностных водных объектов. Основным поверхностным источником водоснабжения на территории Луганской Народной Республики является река Северский Донец с её притоками.

Реки, озера, водохранилища и пруды, также как подземные источники, используются для промышленного, коммунального водоснабжения, орошения, реке рыбозаведения. Водные объекты являются приёмником большого количества сточных вод промышленных предприятий, предприятий коммунального и сельского хозяйства, что отрицательно влияет на качество воды в реках. На территории ЛНР в водные объекты сбрасываются загрязняющие вещества предприятиями практически всех отраслей промышленности [25].

На сегодня в Южной части Республике насчитывается 26 водохранилищ (наибольшее из них Исаковское) 442 пруда, 2 озера и 11 обводненных карьера.

На основе достаточного количества и разнообразия природных ресурсов в регионе созданы большие промышленные мощности по разным направлениям. Развитие хозяйственного комплекса - основная причина антропогенного давления на окружающую природную среду [25, 120].

Особенностью водного режима рек нашего края является неравномерное распределение стока в течение года. На севере Луганщины – 60-62 %, а на юге – 53-58 % годового стока формируется весной, что не соответствует объему водопотребления.

Объем отбора воды более, чем в 3 раза превышает ресурсы речного стока. Местные водные ресурсы не обеспечивают разбавления сточных, особенно загрязненных вод, что не дает возможности поддерживать нужное санитарно-экологическое состояние рек. Для того чтобы сэкономить пресную воду, разрабатывают способы сокращения её расхода в промышленности, в сельском хозяйстве

Население Республики. Территория ЛНР до 2014 года была густонаселенным регионом.

Луганская народная Республика – многонациональный край. В нем проживали представители 104 национальностей, из них: 57,96 % - украинцы, 39,05 % - русские, 0,81 % - белорусы, 0,34 % - татары, 0,26 % - армяне и другие (на начало 2014года).

По данным статистического бюро ЛНР (по состоянию на 2020 год), численность населения составляет 1,447 млн. Население ЛНР имеет тенденцию к уменьшению, что связано с превышением числа умерших над числом родившихся и активной эмиграцией. По данным исследования [27] имеет место отрицательная динамика изменения численности населения ЛНР (Рисунок 1.10).

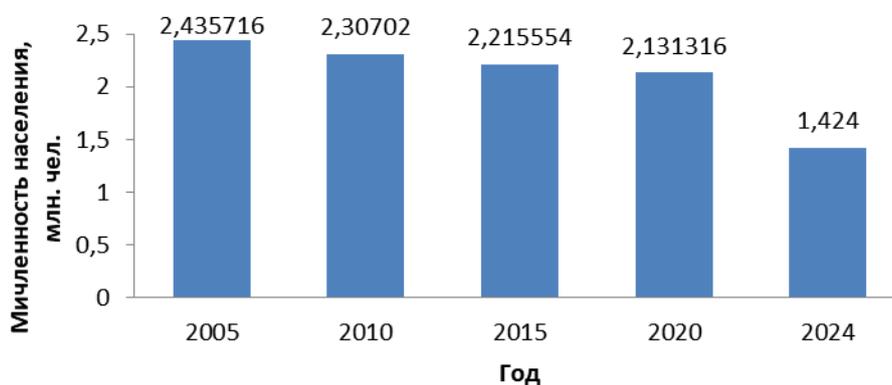


Рисунок 1.10 — Численность населения Луганской Народной Республики за 2005-2024 гг.[27]

Крупнейшие города: Луганск, Красный Луч и Алчевск. Территория разделена на 17 муниципальных районов и 11 городских округов. По территории выделяются два экономических кластера: северный и южный. Плотность населения в северной части - до 20 чел/км², в южной части — около 190 чел/км².

Полезные ископаемые. богата различными полезными ископаемыми (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Основные месторождения добычи полезных ископаемых ЛНР [6]

№	Полезное ископаемое	Месторождения
1	2	3
1	Каменный уголь	Вблизи городов: Перевальск, Краснодон, Ровеньки, Свердловск, Зимогорье, Артемовск.
2	Природный газ	Боровское, Вергунское, Капитановское, Краснопоповское, Лобачевское, Ольховское и др.
3	Известняк	Белокуракинское, Новопавловское, Конопляновское и др.

Продолжение таблицы 1.1

	2	3
4	Песчаник	Белянское, Лутугинское, Марусинское, Петровское, Троицкое и др.
5	Мел	Белогоровское, Белолуцкое, Красногоровское, Шипиловское и др.
6	Мергель	Александровское, Тарасовское и др
7	Глины	Евсужское, Матросское
8	Металлические руды, полиметаллы,	Есауловское, Нагольно-Тарасовское
9	Золото	Бобриковское

Добыча полезных ископаемых влечет за собой изменения рельефа местности, увеличивает нагрузку на поверхность земли, меняет гидравлический режим территории [6].

Промышленность. Географическое расположение, запас полезных ископаемых и характер рельефа обусловил неравномерное по структуре и характеру ведение хозяйства. Территория республики разделена на 2 части [6, 86, 92].

Северная часть (Троицкий, Белокуракинский, Новопсковский, Марковский, Меловской, Беловодский, Старобельский, Сватовский, Новоайдарский и Станично-Луганский округ) занимает 63 % всей территории Республики. Отраслями специализации северной части являются: сельское хозяйство и пищевая промышленность, также развиты деревообрабатывающая, металлообрабатывающая и производство стройматериалов.

Южная часть (Перевальский, Попаснянский, Славяносербский, Лутугинский, Антрацитовский, Краснодонский, Свердловский округ и территории всех горсоветов) занимает 37 % общей площади Республики. Отраслями специализации являются топливно-энергетическая, химическая, металлургическая, стекольная промышленности. Легкая и строительная промышленности играют вспомогательную роль.

Такое разделение привело к громадной техногенной нагрузке на природные ландшафты и водные объекты в южной части республики. Огромные территории выведены из использования и заняты шахтными и металлургическими отвалами, а в водные объекты поступают неочищенные сточные воды предприятий, обогащенные тяжелыми металлами и органическими веществами. Кроме загрязнения природных вод, развитие промышленности требует все больше и больше объемов воды на производственные нужды [148].

Сельское хозяйство. Под влиянием природно-климатических условий сельское хозяйство республики специализируется на выращивании зерновых (озимая и яровая

пшеница, кукуруза на зерно), а также технических культур (подсолнечник). В подавляющем большинстве вокруг больших городов развито овощеводство, виноградарство и садоводство. Животноводство представлено молочно-мясным скотоводством, свиноводством, овцеводством и птицеводством [148].

В северо-восточных районах области довольно распространенным является орошаемое земледелие. АПК недостаточно развит. Это связано с высокой себестоимостью и низкой эффективностью ее продукции. Сельскохозяйственные предприятия владеют значительными, хотя морально и физически устаревшими, фондами и характеризуются низкой фондообеспеченностью. Сравнительно высоким является лишь уровень выращивания подсолнечника и получения яиц, но первый выращивается на значительных площадях при низкой урожайности, которая приводит к истощению почвы и нарушению севооборотов [119].

Активное повышение плодородия почв с помощью минеральных удобрений и борьба с вредителями и болезнями культур с помощью химических веществ приводит к загрязнению почв и водоемов фосфатами, пестицидами и т.д.

Лесное хозяйство представлено 9 лесничествами. Общая площадь лесных насаждений составляет 326,3 тыс. га, подлежащих лесоустройству [61, 62, 131, 142].

Рыболовство не носит массовый характер. Разведение рыб осуществляется в отдельных прудах, изолированных от поступления сточных вод.

Инфраструктура региона. Последние 10 лет инфраструктура пытается справиться со сложностями обусловленными политическими переменами.

Отрезанные от старых транспортных и социальных связей с Украиной, территории ЛНР строят новые связи и взаимодействия с регионами РФ. Активно отстраиваются учреждения образования и медицины. На начало 2024 года в Республике ремонтируются основные участки магистральных дорог. Автобусные рейсы связывают ЛНР с ДНР, и остальными регионами Российской Федерации.

Водопользование и водопотребление. Основные направления использования водных ресурсов: промышленность, сельское хозяйство, бытовые нужды, рыболовство и туризм, выработка электроэнергии. Они же являются основными источниками загрязнения воды. С увеличением численности населения объемы потребления воды постоянно растут [25].

Средние и малые реки, протекающие по территории ЛНР, не могут обеспечить запас воды для промышленных и бытовых нужд населения. Для обеспечения водных потребностей промышленности и сельского хозяйства региона созданы искусственные накопители воды - водохранилища, пруды (Приложение А). Также на местах добычи

полезных ископаемых и стройматериалов в результате выхода на поверхность подземных вод образованы обводненные карьеры.

С их помощью человек может восполнять дефицит природных вод на определенной местности. Просуществовав не один десяток лет, созданные человеком накопители воды приобретают природные свойства: населяются биотой и становятся природно-антропогенными. Ограниченное количество водных ресурсов, большая плотность населения и промышленных мощностей на юге ЛНР являются причиной того, что большинство водоемов и водотоков используются по нескольким направлениям [25].

В качестве водного объекта для подробного изучения выбран самый большой водоем ЛНР, имеющий стратегическое значения, Исаковское водохранилище. Для геоэкологического изучения водных объектов рекреационного назначения были отобраны водоемы Перевальского района.

Водоохранилище — это географический природно-технический объект, ставший неотъемлемой частью ландшафта, важным элементом природного богатства под названием водоем. Водоохранилища изменяют не только природу рек, на которых строятся, но и близлежащие территории. Через время, являясь творением рук человека, они приобретают признаки природных — заиливаются, покрываются льдом, влияют на прибрежные полосы суши, подтопляя земли, и переформируют берега, они наполняются жизнью [4].

Исаковское водохранилище является природно-антропогенным объектом, подверженным воздействию таких факторов, как загрязнение вследствие сброса шахтных вод, сточных вод промышленных предприятий района, а также приемником ливневых и неочищенных вод канализационной станции Перевальска [61, 62, 73, 74 120].

На площади водосбора реки Белой находится 3 водохранилища (Исаковское, Верхне-Орловское и Нижне-Орловское) и 51 пруд; коэффициент озерности составляет 0,62% от водосборной площади (Рисунок 1.11).

Перевальский м.о. является водосборным бассейном реки Белая. На русле этой реки более 70 лет назад построено Исаковское водохранилище [66, 78].

Таким образом, особенности физико-географических условий территории, через которую протекает река Белая, определяют специфические черты формирования природного состава поверхностных вод. Сильные испарения при небольшом количестве осадков, выщелачивание солей из засоленных грунтов приводит к повышенной минерализации речной воды.

Фактический сток р. Белая в среднем и нижнем течении формируется в основном шахтными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, которые составляют 98 %

меженного стока. Сброс в реку Белая значительного количества подземных вод среднего карбона, которые в виде шахтных вод вырываются на поверхность, вызывает дальнейшее повышение минерализации воды гидрографической сети реки Белая [5, 13, 14, 17, 25, 62, 120].

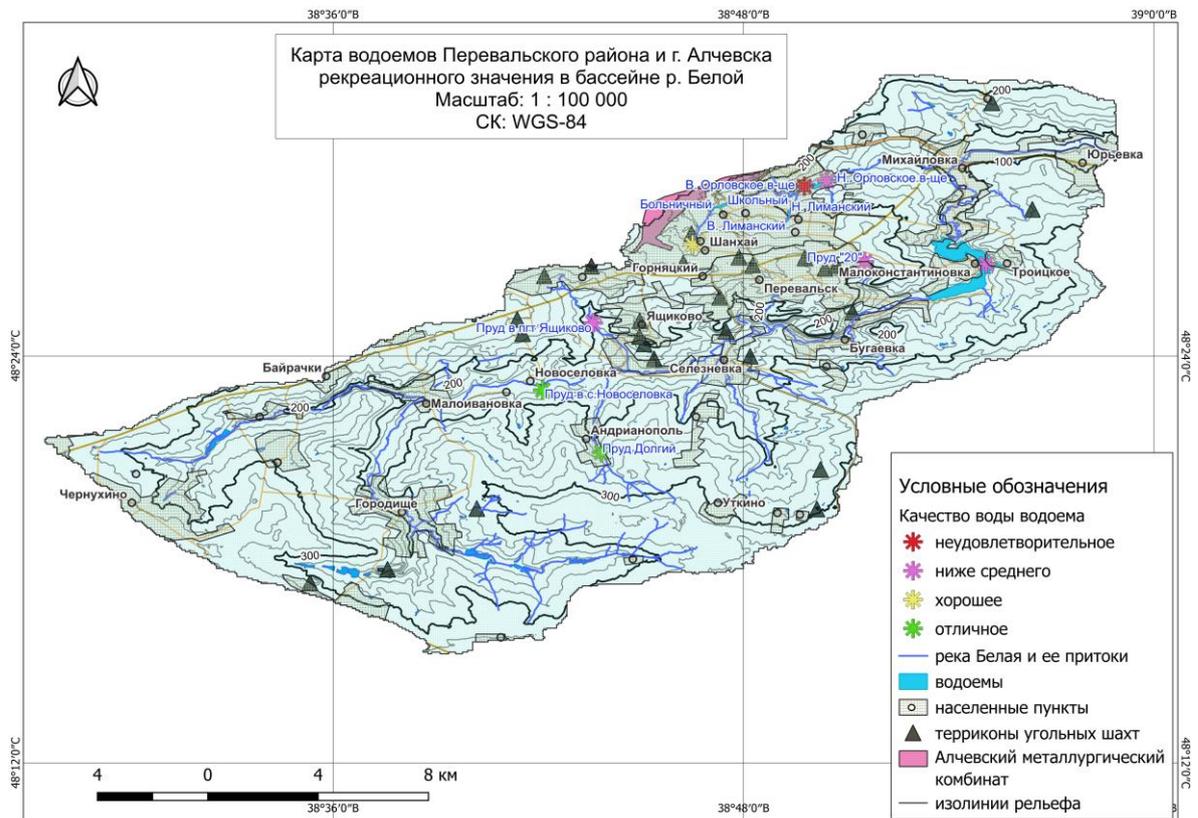


Рисунок 1.11 — Карта бассейна реки Белая

Исаковское водохранилище было построено в п. Исаково Перевальского района Луганской области в 1953 году и принято в эксплуатацию в 1957 г.

На рисунке 1.12 и 1.13 представлены плотина и башня Исаковского водохранилища



Рисунок 1.12 — Плотина водохранилища



Рисунок 1.13 — Водонапорная башня

Данный объект состоит из чаши, водоёма и непосредственно гидротехнических сооружений (земляной плотины и ее элементов: берегового водосброса и водозабора, которые входят в состав гидроузла) [66].

Чаша водохранилища образована путём расчистки и берегоукрепления земельного участка в долине реки Белая, которая является притоком реки Лугань, бассейна реки Северский Донец. Длина водохранилища составляет 7,6 км, а ширина достигает 680 м. Максимальная глубина - 17,6 м. Площадь зеркала при нормальном подпорном уровне (НПУ) с абсолютной отметкой 110,04 м составляет 2,93 км². Полный объём при НПУ - 20,4 млн. м³ [66].

Плотина - земляная, проезжая. Длина по гребню составляет 548 м, а ширина – 6 м. Максимальная высота – 24,7 м. Плотина устроена с верховым и низовым откосами. Уклоны верхового откоса составляют $m=3,0$ и $m=3,5$, а низового - $m=1,5$ и $m=2,0$. Верховой откос закреплён одиночным и двойным каменным мощением, низовой - одерновкой в клеть. Со стороны нижнего бьефа на отметке 103,20 м устроена берма шириной 1,5 м. Плотина имеет 17 пьезометров [25, 66].

Береговой водосброс состоит из подводящего канала, переходного участка быстроточной части с водобойным колодцем, рисбермы и отводящего канала.

Подводящий канал имеет длину 132,5 м и ширину 46 м. Переходный участок состоит из пяти пролётов. Отметка порога составляет 109,00 м, высота шандор – 2,04 м. Длина быстротока – 134,5 м. Ширина в начале быстротока – 37 м, в конце – 27 м. Длина входной части составляет 92,5 м. Перепад отметок быстротока - 0,10 м.

Водобойный колодец имеет длину 37,8 м, а ширину - от 32 м до 39 м. Абсолютная отметка дна составляет 85,50 м.

Водозабор состоит из водозаборной башни с донным водовыпуском в штольне и сифона.

Башня высотой 23 м и диаметром 4-4,2 м выполнена из монолитного железобетона.

Донный водовыпуск выполнен из стальных труб диаметром 700 мм, проложенных в две нитки с уклоном $i=0,0025$ в железобетонной штольне высотой 2,8 м длиной 74 м.

Сифон выполнен из стальной трубы диаметром 1000 мм. Отметка всасывания находится на высоте 94,15 м. Забор воды производится с трёх горизонтов:

верхний горизонт – 103,00 м;

средний горизонт – 97,00 м;

донный горизонт – 91,32 м.

На рисунке 1.14 представлен разрез строения Исаковского водохранилища с основными гидротехническими сооружениями [66].

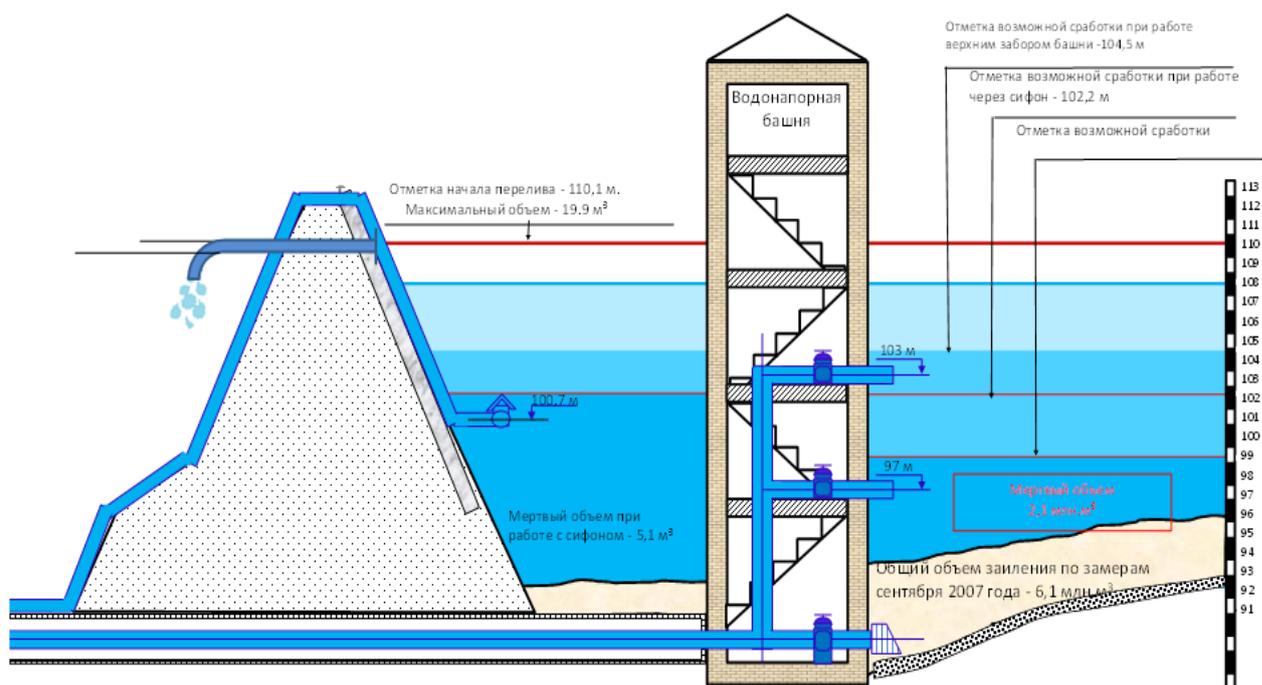


Рисунок 1.14 — Строение Исаковского водохранилища в разрезе [66]

Техническое состояние плотины и гидротехнических сооружений требует внимания. Строительные конструкции плотины эксплуатируются длительное время без текущих и капитальных ремонтов. Чаша и прибрежная зона водохранилища эксплуатируются без производства работ по очистке от ила, мусора и зарослей камыша.

Исходя из анализа дефектов и повреждений конструкций Исаковской плотины, техническому состоянию можно присвоить II категорию (удовлетворительное, пригодное к эксплуатации, но требующее ремонта подпорной стенки). По состоянию на 05.12.2011 значительных повреждений, осадок, деформаций и оползней в теле плотины не выявлено.

Исходя из анализа дефектов и повреждений конструкций плотины (крановая эстакада, быстроток, водобойный колодец), техническому состоянию можно присвоить III категорию (неудовлетворительное, непригодное к нормальной эксплуатации без принятия мер по восстановлению и ремонту) [20, 25].

С использованием водных ресурсов Исаковского водохранилища связаны и мирная жизнь населения, и промышленное развитие региона.

Ежегодно вода водоема централизованно подается по следующим направлениям использования (Рисунок 1.15):

- для полива садовых обществ;
- для снабжения тепловых сетей г. Алчевска;

- для покрытия нужд огромного металлургического производства в технической воде и производства питьевой воды в ООО «ЮГМК».

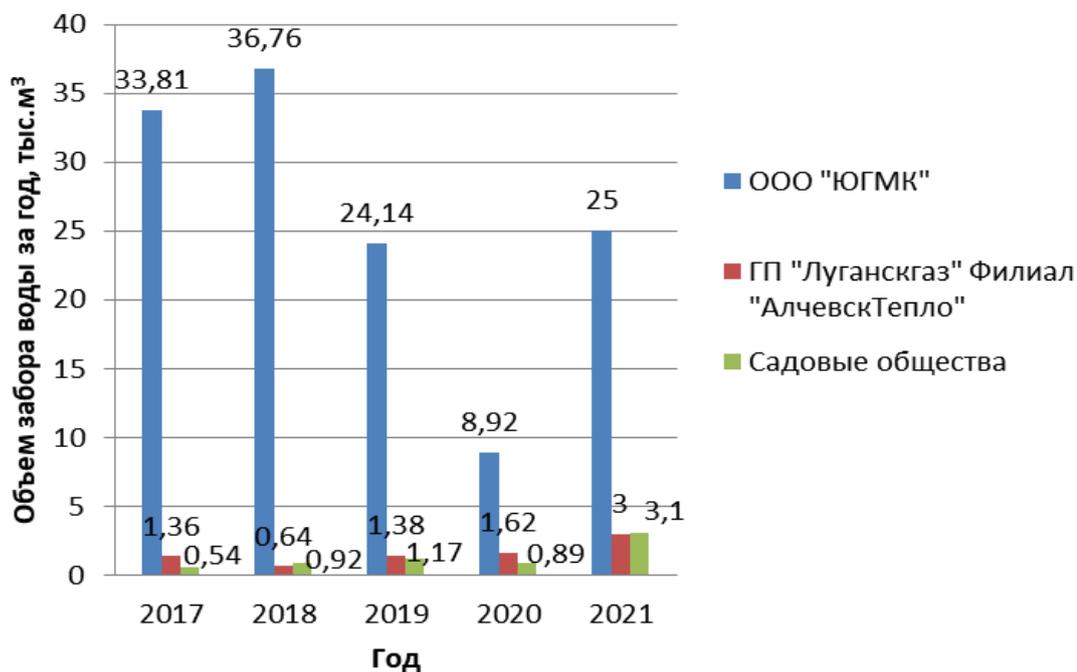


Рисунок 1.15 — Средние объемы забора воды Исаковского водохранилища основными потребителями за 2017-2021 гг. (по данным ЦВП ООО «ЮГМК»)

На сегодня Исаковское водохранилище находится между селами Бугаевка, Степановка, Троицкое, Михайловка, Малоконстантиновка [25].

Вокруг водохранилища (преимущественно на западном берегу) сформирована рекреационная зона (базы отдыха предприятий города Алчевска), дачные общества. Территория вокруг водохранилища практически полностью застроена дачными обществами, основанными еще во времена СССР (Рисунок.1.16) [16].

По берегам водохранилища находятся следующие дачные общества: «Химик-1», «Химик-2», «Электрон», «Родник», «Звездочка», «Автомобилист», «Наука», «Металлург-1», «Металлург-2», «Металлург-3», «Металлург-4», «Алые паруса», «Ремонтник». Орошение дачных участков осуществляется из частных колодцев, насосными станциями дачных обществ с поверхности водохранилища, а также централизованно с насосной станции цеха водоподготовки ООО «ЮГМК». На карте водохранилища также отмечены места отдыха: «Профилакторий», «Нерудник», «Сталь», «Спасательная», «Торговый дом», «Лагуна», «Луч», «Дельфин», «Мечта», «Волна», «Светлана», «Электрон», «Острова», «Утес», «Огонек», «Маяк», «Березка», «Автомобилист», «Бамбук» (центральный пляж), «Росинка», «Отель», «Яхт-клуб», «Алые паруса». В целом на берегу расположены

28 организованных и неорганизованных мест отдыха. Экологическое и техническое состояние баз отдыха плачевное. Несмотря на то, что желающих проводить время на берегу водохранилища не уменьшается, для благоустройства водохранилища практически ничего не предпринимается.

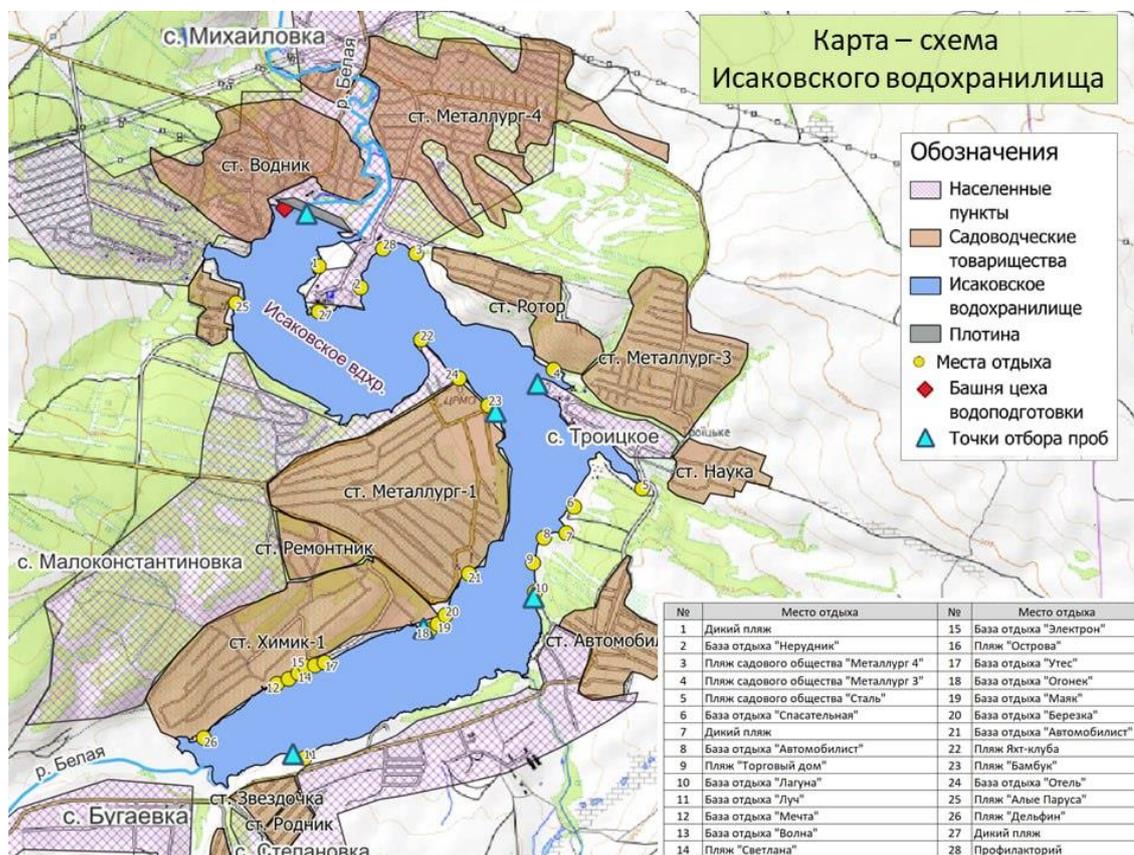


Рисунок 1.16 — Карта-схема Исаковского водохранилища

В удовлетворительном состоянии находятся базы отдыха «Луч», «Березка», «Автомобилист», «Бамбук» (центральный пляж), «Росинка», в чем заслуга частных лиц, арендующих территорию, или предприятий-балансодержателей, заинтересованных в качественном отдыхе сотрудников.

Полезный объем водохранилища составляет от 13078 тыс. м³ до 20226 тыс. м³. (НПУ 110,04 м). На рисунке 1.17 представлена динамика изменения уровня воды в Исаковском водохранилище в течение всего периода наблюдения. Расход воды в сутки составляет до 60 тыс. м³ при суточном притоке от 15 тыс. м³ до 120 тыс. м³ [66].

Снижение уровня воды в 2020 году в водохранилище связано с природной засухой, прекращением откачки шахтных вод предприятий Перевальского района (Рисунок 1.18).



Рисунок 1.17 — Уровень воды в Исаковском водохранилище

Уже с 2021 года уровень воды в водохранилище возвращается к привычным отметкам 109-110 м. Этому способствовали как обильные осадки, так и снижение уровня потребления воды водохранилища основным пользователем ООО «ЮГМК» (Рисунок 1.19) [22].



Рисунок 1.18 — Берег водохранилища в 2020 году



Рисунок 1.19 — Берег водохранилища в 2021 году

В целом баланс приход-расход водохранилища налажен таким образом, чтобы уровень в течение года был постоянным и не опускался ниже допустимого.

Централизованное теплоснабжение города - достаточно ресурсоемкий процесс. ГУП «Луганскгаз» закачивает в тепловые сети воду водохранилища после предварительной

обработки. Зачастую в тепловые сети закачивают питьевую воду, но в данном случае качество воды подземной в сочетании с ее стоимостью уступает воде Исаковского водохранилища [22].

Для обеспечения металлургического производства требуется большое количество водных ресурсов. Для выплавки 1 т чугуна и перевода его в сталь необходимо до 150 м³ пресной воды. Солевой состав воды Исаковского водохранилища значительно ниже, чем вода Верхне-Орловского и Нижне-Орловского водохранилищ, поэтому для ООО «ЮГМК» предпочтительнее использовать воду Исаковского водохранилища.

Для очистки воды до качества питьевой в г. Алчевске построен завод по производству питьевой воды. На сегодня это предприятие входит в ООО «ЮГМК» как цех водоподготовки. Детальная схема очистки воды, трудности и предложения детально описаны в Главе 5 данной работы.

Учитывая стратегическое значение водохранилища для региона, изучение качества воды, объемы безопасного забора воды и ее рациональное использование являются первостепенными задачами.

Основным, непрерывным и стратегическим является производство питьевой воды для металлургического комбината.

Исходя из объемов забора воды, можно утверждать, что наряду с аккумулярованием воды для промышленности водоем является и местом рекреации.

Исаковское водохранилище подвергается мощному техногенному и антропогенному воздействию по следующим направлениям:

- а) изъятие воды из водохранилища;
- б) загрязнение воды в результате сброса в водохранилище недостаточно очищенных промышленных и шахтных вод;
- в) загрязнение воды в результате поступления в водоем стоков с сельскохозяйственных угодий;
- г) коммунальные стоки Перевальской и Селезневской канализационных систем;
- д) несанкционированные мусорные свалки по берегам р. Белая и неорганизованные места рыбалки и отдыха по берегам водохранилища.

На берегах р. Белая и Исаковского водохранилища расположены следующие населенные пункты: Уткино, Степановка, Михайловка, Троицкое, которые могут оказывать негативное воздействие на экологическое состояние поверхностных вод рассматриваемого водохранилища.

Несмотря на запрет купания, рыбной ловли, в летний период открытые берега заброшенных и рабочих баз отдыха массово заняты отдыхающими.

При экологической оценке состояния Исаковского водохранилища необходимо учитывать его многоцелевое использование и подбирать соответствующие критерии оценки качества воды, исходя из фактического использования водного объекта [18].

1.2 Анализ изученности вопроса ОЭБ водохранилищ ЛНР

Для обеспечения безопасности поверхностных вод, прежде всего необходима адекватная оценка экологического состояния водных объектов. Основным источником для понимания свойств и особенностей природных и антропогенных водоемов являются труды А.Б. Авакяна [4]. Сложные природно-антропогенные объекты (водохранилища) приобретают природные признаки, при этом без участия человека стареют и превращаются в болота.

Длительное время искусственные водоемы и их состояние интересовало лишь основных пользователей и то, в аспекте пригодности к дальнейшему длительному использованию.

На территории ЛНР вопросом водных ресурсов на Донбассе занимались О.П. Фисуненко, В.И. Жадан [119], Л.Г. Зубова [63]. Большое количество трудов написаны Г.Я. Дроздом, посвященные экологическому состоянию ЛНР [52, 53].

Основные сведения о водохранилище получены из работы И.И. Жукова, А.Ф. Коломиец [66]. Источником данных по качеству воды является химико-бактериологическая лаборатория ООО «ЮГМК». На основе данных исследований и методик оценки, описанных О.В. Гагариной [42, 43] и Р.Ф. Зарубиной [72], был разработан алгоритм комплексного анализа качества воды. Кроме гидрохимических показателей, также применялся сапро-биологический метод. Научные разработки А.А. Абакумова [1] и справочник С.П. Вассера [35] способствовали развитию и широкому использованию гидробиологических исследований фитопланктона водоемов и расчету индекса сапробности для оценки качества поверхностных вод гидробиологическими методами.

Основное направление исследования было выбрано на основе публикаций С.Л. Вендрова [36, 37], К.Н. Дьяконова [64], С.А. Двинских [57], Г.А. Тихановской [137].

Исследование сезонности изменения качества воды и взаимосвязь компонентов воды, а также оценка водоемов по направлениям использования имеют важное значение для водоемов многофункционального использования. Проблемы эксплуатации гидроузлов водохранилищ, описанные Т.И. Кутявиной [91], А.С. Ольковой [91], направили исследования

в сторону повышения безопасности использования воды водохранилища и эксплуатации гидроузлов.

Кроме этого, сложность в оценке качества воды добавляет нормативная база. Переходный период (до 2026 года) от законодательной базы Украины к законодательству Российской Федерации создает сложности в выборе методик и нормативных значений показателей, используемых в работе [47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 69, 87, 88, 108, 110, 111].

В ЛНР изучением водных ресурсов активно занимаются, мониторинг состояния поверхностных вод осуществляют: Министерство природных ресурсов и экологической безопасности Луганской Народной Республики; ФГБУ «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Луганской Народной Республике»; ФБУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в ЛНР"; предприятия-водопользователи.

Наблюдения с разной периодичностью проводятся по основным водным объектам (рекам: Северский Донец, Лугань, Белая, Ольховая, Большая Каменка, Ровенек, Кундрючья, Ломоватка, Камышеваха, Лозовая, Миус, Крепенькая, Нагольная; водохранилищам: Должанское, Бирюковское, Яновское, Елизаветинское и Исаковское) [25].

Большая часть работы, выполняемая экологическими службами направлена на оценку состояния природных водоемов и рек. Геоэкологическая оценка искусственных водоемов не проводится. Также нет объективной оценки пригодности воды водоемов по направлениям использования и контроля над деятельностью основных пользователей водоемами и водными ресурсами. Основное направление исследования водоемов и водотоков в ЛНР направлено на оценку влияния добычи полезных ископаемых на растительный, животный мир и экологическое состояние территории в целом.

Искусственные водоемы республики не воспринимались как отдельные геоэкологические объекты достойные внимания и исследования.

1.3 Анализ проблемных вопросов обеспечения экологической безопасности и постановка задач исследования

Территория района относится к территориям с высокой сложностью инженерно-технических условий освоения. Геологическое строение и рельеф местности препятствуют равномерному развитию региона.

Климат на данной местности резко континентальный, который характеризуется резкими сменами колебания температуры воздуха, сильными восточными ветрами, жарким и сухим летом и малоснежной зимой с частыми оттепелями, туманом, гололедицей.

Эродированность почв составляет 48 – 80 %. Водообеспеченность в 1,5 – 2 раза ниже средней по региону и составляет 0,56 тыс. м³ воды на одного жителя в год.

Негативное воздействие на экологическое состояние оказывает антропогенное влияние:

1. Деятельность предприятий по добыче угля и песчаников (изменение геологического строения недр, выведение из использования больших площадей заполненных породой, изменение уровня подземных вод, загрязнение водоемов сточными водами предприятий и пылью, выветриваемой с поверхностей отвалов.

2. Деятельность металлургических комплексов (загрязнение воздуха пылью, дымом и токсичными газами, выведение из пользования территорий занятых шлаком и шламами, загрязнение водоемов сточными водами предприятий путем оседания пыли и газа на поверхность.

3. Интенсивное ведение сельского хозяйства на подверженных эрозии и истощенных почвах приводит к смыву с поверхности полей удобрений и химикатов в водоемы и водотоки [150].

4. Военные действия, которые наблюдаются в ЛНР уже 10 лет, приводят к загрязнению атмосферы продуктами горения боеприпасов, выхлопными газами тяжелой техники и авиации, поверхностный слой земли с растительным покровом портится при взрыве снарядов, окопы и защитные сооружения также искажают рельеф местности. Водные объекты абсорбируют в себя смывы топлива и остатки взрывчатых веществ.

Как результат: систематически фиксируются отклонения по качеству воды (солесодержание, общая жесткость, ионы кальция и магния, сульфаты, микробиологические показатели), ограничивающие направления использования водных ресурсов республики. Стоит отметить, что отклонения по перечисленным выше показателям отмечаются и в воде централизованно подаваемой населению и промышленным предприятиям ГП ЛНР «Лугансквода».

Водоёмкость основных промышленных предприятий обуславливает обильное использование водных ресурсов. ГП ЛНР «Лугансквода» добывает воду из артезианских скважин. Объем добытой воды не может покрыть потребности всего населения, ни говоря уже о промышленности.

Водохранилища ЛНР длительное время являются аккумуляторами водных ресурсов региона для питьевого водоснабжения и промышленных целей.

Оценка водных ресурсов, извлекаемых из водохранилища, проводится исключительно основными пользователями, показатели, определяемые пользователями и периодичность определения, регламентируется рабочими программами предприятий.

Комплексная геоэкологическая оценка водоемов должна содержать информацию по качеству воды и информацию по основным потребителям водных ресурсов водоема (объема забора, пригодности воды для использования, периода использования). Более сложной задачей является оценка водоемов, используемых по нескольким направлениям, сезонно или же одновременно. В этом случае безопасный объем извлечения воды необходимо подбирать всеми пользователями сообща.

Для выполнения оценки следует разработать систему, подходящую для разных пользователей водоемами, и апеллирующую разными параметрами (нормативами использования, расчетными индексами или же временными рядами отдельных показателей качества воды).

Для оценки экологической безопасности использования следует разработать методику оценки предприятия и при выявлении недостатков или же устаревших механизмов исключать их для повышения экологической безопасности пользования водоемов. Схема постановки задачи исследования представлена на рисунке 1.20.



Рисунок. 1.20 — Схема постановки задач исследования

На основании вышеизложенного может быть сформулирована следующая постановка задач исследования. Исходя из современного состояния водных объектов и реальной нагрузки на водоемы целесообразно:

1. Выявить проблемы экологической безопасности использования водных ресурсов Луганской Народной Республики.

2. Провести анализ существующих методов геоэкологической оценки водоемов по направлениям использования и разработать систему показателей для геоэкологической оценки водоемов многоцелевого назначения.

3. Разработать систему оценки экологического состояния водоемов ЛНР с учетом их целевого назначения, особенностей функционирования и рационального использования.

4. Исследовать статистические связи между показателями качества воды Исаковского водохранилища и разработать математические модели динамики их изменения.

5. Разработать и обосновать подход для управления качеством питьевой воды, производимой из поверхностных вод, способствующий повышению экологической безопасности в области использования водоемов.

1.4 Выводы по главе 1

1. Выполненный анализ географического положения, промышленных, сельскохозяйственных, демографических и экологических особенностей, водных ресурсов региона показал:

- дефицит водных ресурсов в регионе в первую очередь вызван сложными природными условиями Донбасса;

- аккумуляция водных ресурсов в искусственных водоемах решает проблему дефицита лишь частично;

- спустя более 50 лет созданные для нужд промышленности водоемы становятся природно-антропогенными, но, несмотря на естественные процессы самоочищения, требуют постоянного контроля качества питающих вод и должного обслуживания гидротехнических сооружений.

Анализ потребностей в водоснабжении населения и хозяйства региона выявил:

- в ЛНР в течение 10 лет наблюдается острый дефицит питьевой воды, связанный с изношенностью водопроводных сетей, малым объемом чистой воды, которая доступна для

подачи населению, порывами и просадками электрических сетей, что приводит к остановкам насосных станций;

- водоемы Луганской Народной Республики расположены неравномерно. В связи с разным характером хозяйствования в регионах характер влияния и использования водных объектов также разный. На севере Республики развито сельское хозяйство, на юге — в основном промышленность и энергетика, что требует значительных затрат воды;

– в виду ограниченности природных водоемов население использует находящиеся рядом водоемы для своих нужд (орошение земель, рыбная ловля, занятия спортом, купание, коммунально-бытовые нужды);

– искусственно созданные для накопления водных ресурсов водоемы содержат воду низкого качества (в течение года имеются превышения по обще-санитарным показателям, летом добавляются микробиологические);

– безмерное использование водных ресурсов приводит к снижению уровня воды в водохранилищах, низкому уровню разбавлению сточных вод и нарушению баланса в экосистемах водоемов и близлежащих территориях;

- технологические схемы очистки отработанных вод предприятия и водоподготовки при заборе воды из открытых источников уже сильно устарели. Необходимо провести оценку их эффективности и своевременно принимать меры к их модернизации или замене.

Анализ теоретических и методических основ геоэкологического исследования водоемов показал:

– отсутствует методика, которую можно использовать для оценки водоемов многоцелевого использования;

– геоэкологической оценкой состояния водоемов на территории ЛНР не занимаются должным образом;

– комплексная геоэкологическая оценка водоемов не проводилась в течение 30 лет.

Для каждого конкретного водоема необходимо определить слабые места и индикаторы качества воды для своевременной и корректной оценки геоэкологического состояния.

Геоэкологическая оценка формирует целостное представление о закономерностях взаимоотношения населения, хозяйственной деятельности человека, водных объектов и биоценозов, населяющих территорию исследования, в то время, как экологическая оценка водоема или же оценка качества воды отражают лишь часть системы.

Таким образом, выявлено основное базовое положение «Геоэкологическая оценка водоемов Луганской Народной Республики и повышение безопасности их использования» и для его выполнения частные – защищаемые научные результаты:

Результат 1. Система геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики в современных условиях с учетом многоцелевого использования водных объектов.

Результат 2. Корреляционные связи и регрессионные зависимости между показателями качества воды водоемов. Результаты математического моделирования динамики изменения показателей качества воды из поверхностных источников.

Результат 3. Методика оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке и разработка рекомендаций по водоочистке для повышения экологической безопасности использования водных объектов. Результаты математического моделирования динамики изменения количества хлорсодержащих компонентов при водоочистке в зависимости от качества исходной воды.

При всей заинтересованности Министерства природных ресурсов ЛНР к водным объектам существуют противоречия в необходимости решения частных задач для достижения основной цели. Сформулированная постановка задач направлена на разрешение частных противоречий и достижения цели диссертационного исследования.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДОЕМОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

2.1 Исходные данные для исследований

В перечне водных объектов стратегического назначения Луганской Народной Республики на первом месте стоит Исаковское водохранилище.

Основными направлениями использования водоемов являются водопользование и водопотребление (Рисунок 2.1).

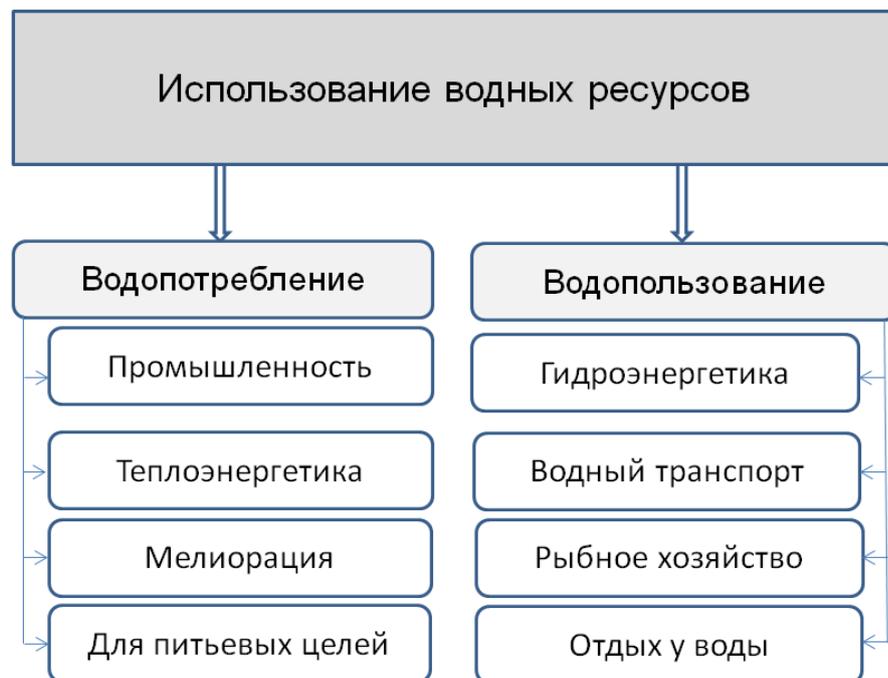


Рисунок 2.1 — Направления использования водных ресурсов

Из приведенных выше направлений Исаковское водохранилище используется по следующим направлениям:

- водопользование (рыбная ловля, отдых у воды, парусный спорт);
- водопотребление (промышленность, мелиорация, как сырье для производства питьевой воды).

При выполнении геоэкологической оценки следует учитывать компоненты природно-антропогенного объекта, имеющие значение в процессе их использования:

– как источника воды. Важные составляющие оценки: качество воды, состояние санитарно-защитной зоны, интенсивность загрязнения источника воды и его способность к самоочищению;

– как объекта водопользования для человека. Одинаково значимы как качество воды, так и состояние берега, дна, скорость и характер течения, безопасность водоема для отдыхающих.

При исследовании определенного параметра его значение сравнивают с допустимым для определенного вида деятельности [129].

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) — максимальная концентрация вещества в воде, которая при поступлении в организм в течение всей жизни не должна оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье населения в настоящем и последующих поколениях, в том числе в отдаленные сроки жизни, а также не ухудшать гигиенические условия водопользования [31].

Виды пользования и потребления воды имеют разные критерии и требования к водным ресурсам.

Следовательно, ПДК для разных видов деятельности может отличаться. Исследование качества воды водоема составлено на основе данных [31]:

1. Результаты анализа воды химико-бактериологической лаборатории цеха водоподготовки ООО «ЮГМК» (свидетельство об аттестации ХБЛ № Рв 002/2022 от 17.01.2022), полученных при участии автора работы. Всего база данных включает информацию о 38 показателях, измеряемых ежемесячно с 2014 по 2022 гг.

2. Исследований экологического состояния восьми водоемов Перевальского района и г. Алчевска, используемых населением в рекреационных целях (получены автором работы лично).

Перечень показателей, которые используются в работе, представлены в таблице 2.1. Условные обозначения переменных и их описание содержатся в Приложении Б.

В Приложении В перечислены методики, согласно которым осуществлялись определения содержания компонентов.

При формировании системы геоэкологической оценки водных ресурсов ЛНР с учетом направлений их использования были изучены: научные публикации, техническая документация производства, требования к качеству природных ресурсов, потребность в водных ресурсах, фактические направления использования водоемов.

Таблица 2.1 — Перечень показателей, которые используются в диссертационной работе [13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 25, 119, 120, 121]

Показатели	Период
1	2
<ul style="list-style-type: none"> • Технологические характеристики водохранилища: глубина забора воды, приток воды, забор воды; температура воды в месте забора. • Результаты по показателям качества воды: цветность, мутность, рН, ионы аммония, нитриты, хлориды, щелочность, жесткость, медь, алюминий; • Результаты лабораторных исследований бактериологического отдела по микробиологическим показателям качества воды: ОМЧ37, обобщенные колиформные бактерии. 	Ежедневно
<ul style="list-style-type: none"> • Результаты лабораторных исследований по показателям качества воды: растворенный кислород, перманганатная окисляемость, БПК₅; сульфаты, марганец, нитраты, сухой остаток, кальций магний; • Результаты лабораторных исследований по микробиологическим показателям качества воды: ОМЧ 22, энтерококки, E.coli, колифаги; • Фитопланктон – численность и биомасса. 	Ежемесячно
Показатели качества воды по следующим водным объектам: Перевальского района (пруд «20», пруд «Долгий», пруд в посёлке городского типа Ящиково, пруд в селе Новосёловка, Исаковское водохранилище) и г. Алчевска (Ящиковский пруд, водохранилища Верхне-Орловское и Нижне-Орловское) и по периметру Исаковского водохранилища: цветность, сухой остаток, запах, рН, ОМЧ 37°С, ОМЧ 22 °С, обобщенные колиформные бактерии, колифаги, фитопланктон.	1 раз

На основе проработанного материала была составлена и опробована система комплексной геоэкологической оценки водоемов ЛНР с учетом многоцелевого использования водных объектов, представленная на рисунке 2.2.

Сохранение стабильного водного баланса в водоеме количественного и качественного система природно-антропогенного объекта будет стабильно развиваться и сохранять экологическую безопасность для пользователей.

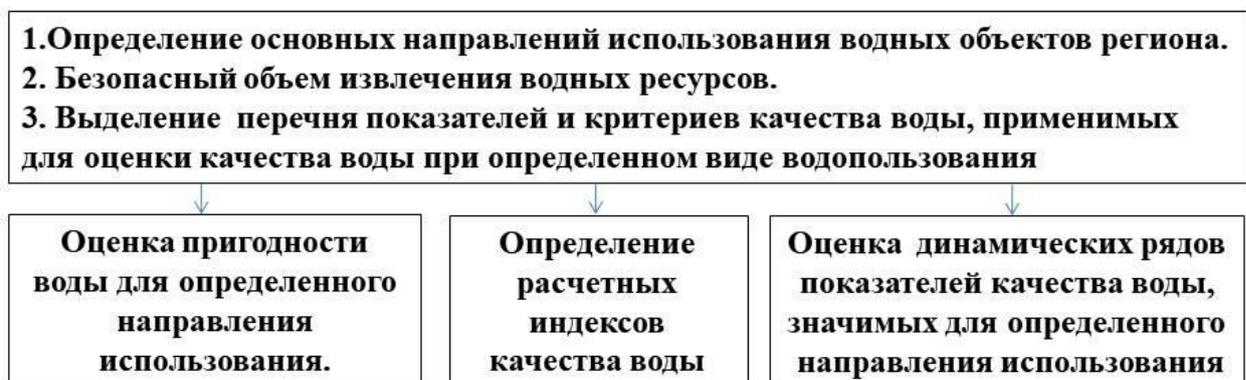


Рисунок 2.2 — Система геоэкологической оценки водоемов ЛНР в современных условиях с учетом многоцелевого использования водоемов [13]

Сохранение стабильного водного баланса в водоеме количественного и качественного система природно-антропогенного объекта будет стабильно развиваться, и сохранять экологическую безопасность для пользователей.

2.2 Методы оценки динамики изменения качества воды

Для оценки степени и характера загрязнения природных вод Российской Федерации используют отдельные показатели, приведенные в таблице 2.2 [72].

Таблица 2.2 — Показатели, характеризующие загрязнения природных вод [72]

Группы показателей	Характеристика показателей
Химические	Водородный показатель, содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода, окисляемость, содержание азота, общее солесодержание, концентрация анионов и катионов
Физические	Цвет, запах, мутность, прозрачность и температура
Бактериологические	Обобщенные колиформные бактерии, наличие патогенных микроорганизмов
Гидробиологические	Видовой состав гидробионтов соответствующих сапробных и олигосапробных организмов

На основании результатов анализа делаются выводы о пригодности воды для конкретного вида потребления, возможности применения тех или иных методов очистки [14, 21, 22, 24].

Для исследования качества воды по отдельным показателям, а также по их совокупности необходимо составить выборку за максимально возможный период времени и выполнить статистический анализ данных. Для детального изучения качества воды нами разработан алгоритм исследования, схема этапов которого представлена на рисунке 2.3.

Этап 1. Организация массива данных. Выполняется формирование массива данных, показателей качества воды водоема за интересующий период. Данные, собранные в выборки по отдельным показателям, должны соотноситься по времени, быть получены из достоверных и аттестованных источников.

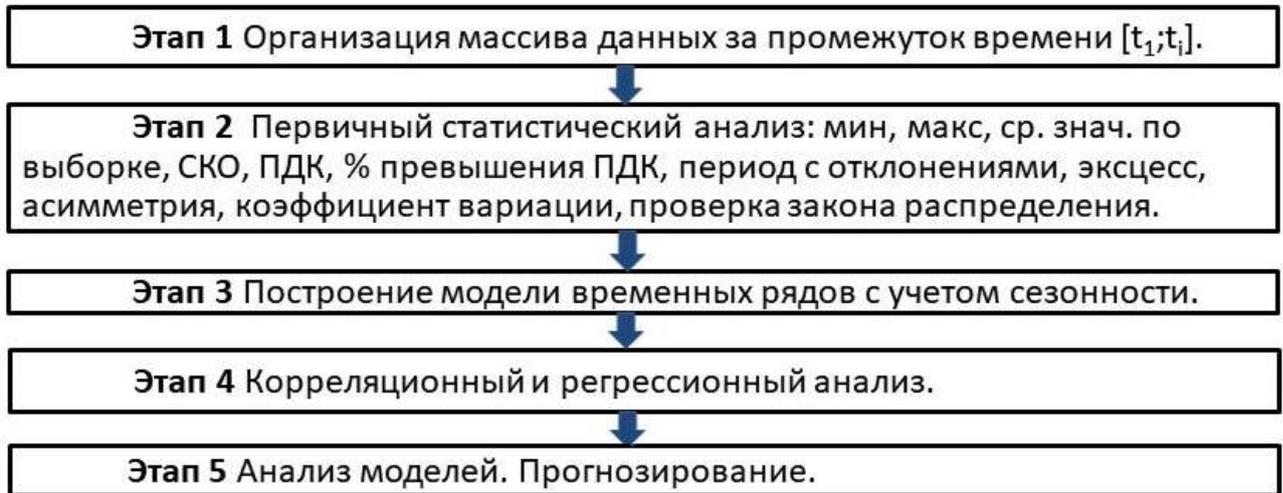


Рисунок 2.3 — Схема поэтапного исследования качества воды водоема [21]

Этап 2. Первичный статистический анализ. Определяются основные статистические параметры выборки: объем выборки, выборочное среднее, выборочная дисперсия, выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО), выборочное СКО, исправленное выборочное среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, размах выборки, стандартная ошибка среднего, медиана, мода [21, 88, 140].

Прежде чем приступать к дальнейшей статистической обработке, следует проверить данные на наличие аномальных наблюдений. Наиболее мощным является критерий, основанный на использовании нормированного отклонения:

$$\tau = \frac{|x - \bar{x}|}{S} \quad (2.1)$$

Проверка заключается в сравнении наблюдаемого значения критерия τ с табличным $\tau_{таб}$. Если $\tau > \tau_{таб}$ при выбранном уровне значимости, то это означает, что проверяемое значение аномально и должно быть отброшено.

Для нормального закона также характерно совпадение среднего значения, моды и медианы, т.е. теоретически нормальное распределение строго симметрично. В тех случаях, когда какие-либо причины благоприятствуют более частому появлению значений признака, которые больше или, наоборот, меньше среднего, образуется асимметричное распределение. Об отклонении от нормального распределения свидетельствуют коэффициенты: асимметрии A_s и эксцесса E_k .

Для нормального закона должны выполняться соотношения:

$$|A_s| \leq 3 \cdot \sqrt{D(A)}, \quad |E_k| \leq 3 \cdot \sqrt{D(E)}, \quad (2.2)$$

где $D(A)$ и $D(E)$ – дисперсии асимметрии и эксцесса [88].

Кроме анализа основных статистических параметров выборки для выполнения следующих этапов следует определиться с направлением использования воды водоема и с нормативным значением предельно допустимой концентрации (ПДК) исследуемого показателя в воде. Определение количества значений в выборке с превышением в %. Выделение основных периодов с превышением значения ПДК, если таковые зафиксированы.

Этап 3. Построение модели временных рядов на основе сезонности.

На этом этапе исследуется сезонность изменения показателей, значения которых превышают ПДК. Поскольку значения признака расположены в хронологической последовательности, следовательно, выборку можно рассматривать как временной ряд [88, 140]. В отличие от элементов случайной выборки, члены временного ряда не являются статистически независимыми, т.е. фактор времени оказывает существенное влияние на формирование его значений. Как правило, временной фактор задает тенденцию (тренд) изменения признака. Тренд может быть определен в виде математической функции $x = f(t)$. Временной ряд может иметь сезонную составляющую, которая формирует повторяющиеся в определенное время года колебания анализируемого признака [88, 140].

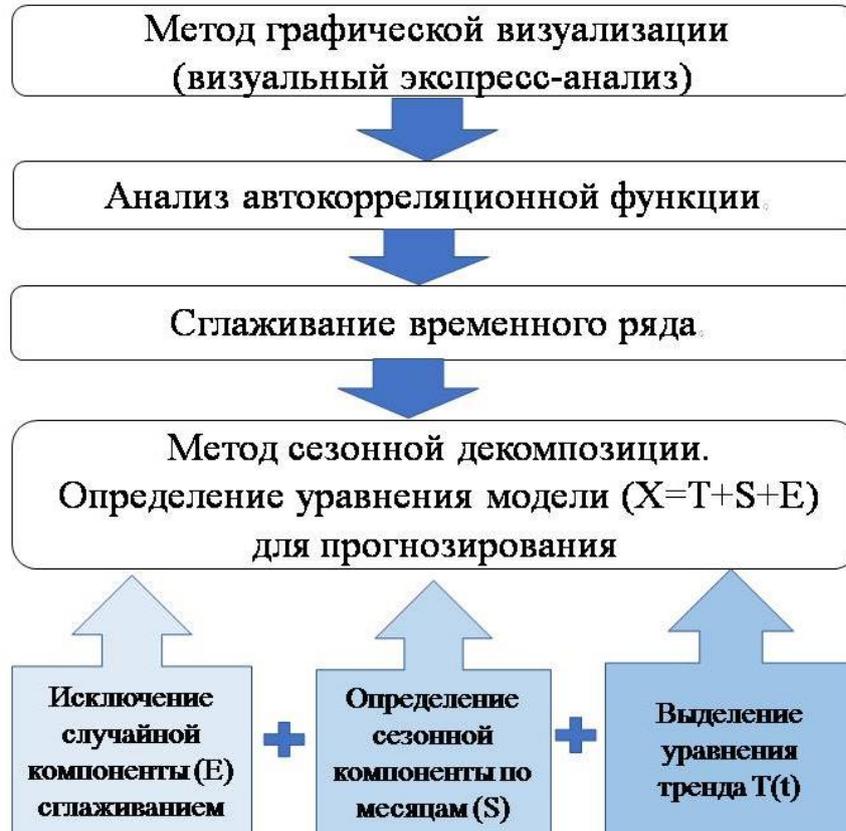


Рисунок 2.4 — Последовательность исследования временных рядов [88]

Метод графической визуализации

На основе исходных данных строится график временного ряда (по оси ОХ отчается время t , по оси ОУ - значения временного ряда) и делается предварительное заключение.

Этап визуального анализа динамики временных рядов помогает выявить аномальные наблюдения, оценить структуру ряда, сделать предположения о типе случайного процесса им представляемого и др.

Структура ряда - это математическая модель, объясняющая схему влияния факторов на формирование значений ряда. Временной ряд $x_1, x_2, x_3 \dots x_i \dots x_N$ может содержать: трендовую компоненту T ; сезонную или циклическую компоненту S ; случайную компоненту E .

Общая модель структуры ряда $X = f(T, S, E)$ имеет вид:

- аддитивная $X=T+S+E$;
- мультипликативная $X=T \cdot S \cdot E$.

Визуальные признаки аддитивной структуры ряда - отклонения значений ряда от линии тренда циклические и с относительно постоянной амплитудой. Визуальные признаки мультипликативной структуры ряда - отклонения значений ряда от линии тренда циклические, но с увеличивающейся или уменьшающейся амплитудой.

Анализ автокорреляционной функции.

Автокорреляционная функция используется для выявления структуры ряда. В отличие от элементов случайной выборки, члены временного ряда не являются статистически независимыми, т.е. текущее значение ряда зависит от предыдущих. Для проверки степени зависимости между членами временного ряда используют ряды со смещением (лагом).

Для каждого смещенного ряда на лаг k и исходного ряда находят коэффициент автокорреляции:

$$r_k = \frac{\overline{x_t x_{t-k}} - \bar{x}_t \cdot \bar{x}_{t-k}}{\sigma_t \cdot \sigma_{t-k}}, \quad (2.3)$$

где x_t — исходный ряд;

x_{t-k} — ряд, смещенный на k лагов.

Проверка коэффициентов автокорреляции на значимость по критерию Стьюдента проверяется так же, как для простой корреляции, изложенной ранее, по формуле (2.3).

Вычисленные значения коэффициентов автокорреляции r_k в зависимости от лага k наносят на график и делают следующие выводы:

- если значимый коэффициент автокорреляции наблюдается только при лаге $k = 1$, то в исследуемом ряде присутствует тренд;
- если на некотором лаге k коэффициент автокорреляции значим и имеет наибольшее значение, то в ряде присутствует сезонная компонента периода k ;
- если все коэффициенты автокорреляции не значимы, то ряд представляет собой случайную величину.

Сглаживание временного ряда

А) Метод скользящей средней

Любую функцию можно сгладить с тремя, пятью и даже семью точками. Это позволяет уменьшить разброс значений выходных данных, выявить тенденцию временного ряда и предсказать будущие значения, т.е. сделать прогноз. Общая тенденция может быть положительной (рост параметра), отрицательной (убывание) или указывать на колебательный или экстремальный характер динамики.

Простейший алгоритм сглаживания скользящей средней по трем точкам осуществляется по формулам:

$$\bar{x}_1 = \frac{5x_1 + 2x_2 - x_3}{6}; \bar{x}_i = \frac{x_{i-1} + x_i + x_{i+1}}{3}; \dots; \bar{x}_N = \frac{5x_N + 2x_{N-1} - x_{N-2}}{6}, i = \overline{2N-1}. \quad (2.4)$$

Первые и последние средние вычисляются по фактическим значениям трех первых и трех последних значений исходного временного ряда, а промежуточные — как средние трех смежных значений.

Сглаженный с помощью скользящей средней временной ряд наносят на график исходного временного ряда. По характеру тренда оценивают тенденцию изменения за весь период предыстории. Это может быть монотонное снижение или рост, колебания вокруг среднего значения или кривая с экстремумом.

Метод сезонной декомпозиции [88]. Модель временных рядов в аддитивной форме имеет вид: $X=T+S+E$. Алгоритм расчета параметров модели следующий.

1. Расчет сезонной компоненты путем сглаживания фактических значений показателя X (табл. 2.3).

Таблица 2.3 — Расчет сезонной компоненты

Месяц года	t	X_t	Скользящее среднее	Центрированное среднее	Сезонная компонента
1	2	3	4	5	6
Номер месяца	Дискретное время	Содержание компонента X_t	Среднее арифметическое первых 12 значений	Центрированное среднее из двух соседних членов ряда	Сезонная компонента S_i находится как разность 3-го и 5-го столбцов

Полученный ряд сезонных компонент S от 7-го до $n-6$ значений распределяют по длине периода (по годам). После этого необходимо распределить значения сезонной компоненты по годам (Таблица 2.4).

Таблица 2.4 — Расчет сезонной компоненты

Месяц	Год			Среднее значение	Скорректированное значение
	1	...	9		
1	2	3	4	5	6
1	$s_{1,i}$...	$s_{1,9}$	S_1	S_1-b
...
12	$s_{12,i}$...	$s_{12,9}$	S_{12}	$S_{12}-b$
Сумма				a	Контроль: $\Sigma=0$
Среднее				$b=a/12$	

Далее в 6-ой столбец заносим среднее значений за каждый месяц и потом суммируем, при правильной модели сумма $a=0$. Если $a \neq 0$, то необходимо ввести поправку $b=a/12$. Столбец 7 (скорректированные средние сезонные значения) заполняется следующим образом: из 6-го столбца вычитается поправка. Далее суммируем значения по месяцам, при правильном расчете сумма элементов 6-го столбца должна быть равна 0.

Таким образом, окончательно сезонная компонента представляется в виде столбца с 12-ю значениями и соответствующим графиком (Рисунок 2.5).

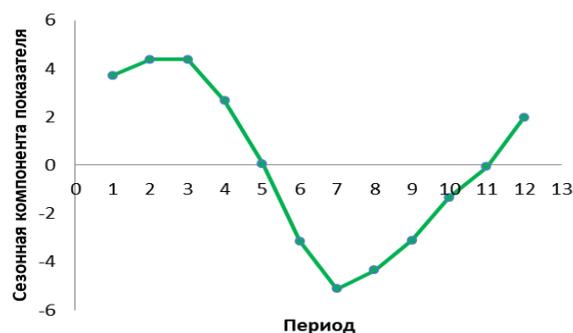


Рисунок 2.5 — Сезонная компонента

Для нахождения трендовой компоненты заполняем Таблицу 2.5.

Таблица 2.5 — Расчет трендовой компоненты

t	X_t	S_i	$T=X_t-S_i$	$T(t)$	$X_{\text{расч}}$	Остатки
1	2	3	4	5	6	7
Дискретное время	Фактическое значение показателя	Сезонная компонента	Разность фактического значения показателя и сезонной компоненты	Расчет тренда $T(t)$	Прогноз $S+T(t)$	Разница между фактом (2-й столбец) и прогнозом (6-й столбец)

Далее сравниваются фактические и расчетные значения показателя (Рисунок 2.6) и после анализа графиков записывается окончательный результат моделирования в суммы трех компонент $X = T + S + E$, который в дальнейшем используем для прогноза [61].

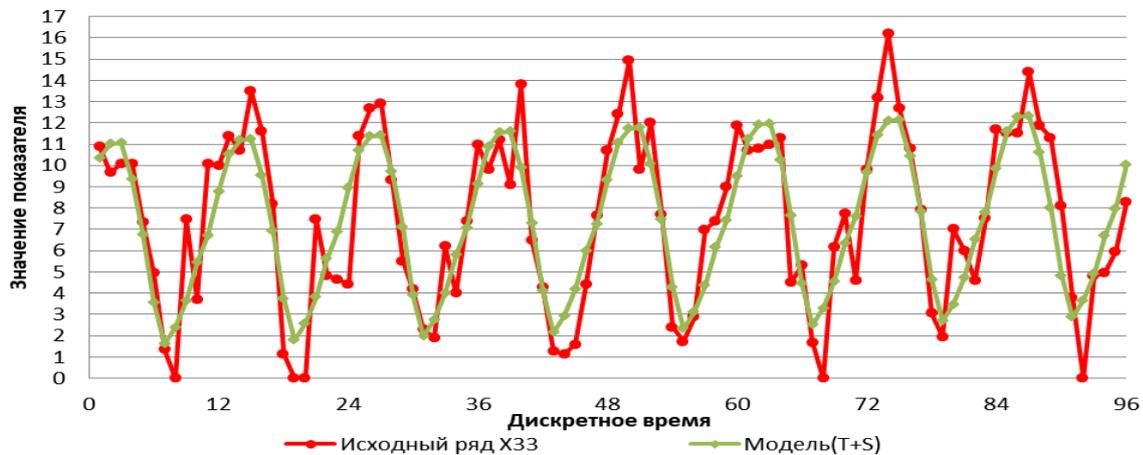


Рисунок 2.6 — График изменения показателя во времени

Этап 4. Корреляционный и регрессионный анализ

Корреляционный анализ позволяет выявить наиболее связанные между собой переменные. Основная цель корреляционного анализа — обеспечить получение некоторой информации об одном признаке с помощью другого признака. Наличие корреляции означает, что изменение одной переменной вызывает изменение другой. Статистическая зависимость может быть описана математической функцией. Общий вид статистической зависимости (статистической модели):

$$y = f(x) + \varepsilon, \quad (2.5)$$

где x — независимая, т.е. объясняющая переменная; y — зависимая, объясняемая переменная; ε — случайная составляющая.

Случайная составляющая (ε) может быть обусловлена множеством неучтённых факторов. Чем больше существенных для переменной y факторов будет добавлено в модель, тем меньше будет доля в сумме случайной составляющей.

Функция, которая описывает статистическую зависимость, называется регрессией. Уравнение регрессии имеет вид: $\bar{y} = f(x)$ — такая регрессия называется парной (одномерной) и характеризует, как объясняющая переменная влияет на зависимую результативную переменную «в среднем».

Уравнение регрессии строится с целью предсказания (прогнозирования) среднего значения \bar{y} при фиксированном значении x .

Виды парной регрессии определяются видом функции $f(x)$:

- линейная $\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot x$;
- квадратичная (нелинейная) $\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2$;
- логарифмическая (нелинейная) $\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot \ln x$;
- экспоненциальная (нелинейная) $\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot e^x$ и др.

Изменение выходного показателя объясняется влиянием многих факторов, в таком случае для прогноза используются модели множественной регрессии.

Общий вид модели: $\bar{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon$, где x_1, x_2, \dots, x_k — независимые значения признака, k — число независимых признаков, \bar{y} — зависимый признак (результативный). Функция $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ может быть как линейной, так и нелинейной формы.

Очень важным является вопрос о том, сколько независимых факторов может быть в уравнении множественной регрессии при заданном объеме выборки n . Обычно используют такое правило: число наблюдений должно быть не менее чем в 8–10 раз больше числа факторов в уравнении регрессии [88].

Этап 5. Анализ моделей и прогнозирование [88]

Важно не только получить уравнение регрессии, но и оценить его адекватность (качество и надежность), т.е. соответствие действительности. Для оценки качества модели рассчитывают:

- 1) Коэффициент детерминации:

$$R^2 = \frac{\sum (y_i^T - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2.6)$$

где $y_i^T = f(x_i)$ — расчетное значение y , найденное по уравнению регрессии.

R^2 характеризует долю вариации результирующего признака y , которая объясняется вариацией признака x .

2) Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x^2}, \quad (2.7)$$

где r характеризует тесноту линейной связи. Пределы изменения коэффициента корреляции $-1 \leq r \leq 1$. Если $r \approx 0$, то линейной связи между факторами нет. Если $r \approx \pm 1$ (точное значение ± 1 при статистических наблюдениях невозможно), то между факторами есть сильная, почти функциональная линейная связь. Положительное значение r означает возрастающую зависимость, отрицательное — убывающую.

Коэффициент парной корреляции необходимо проверить на статистическую значимость по критерию Стьюдента. Выдвигают гипотезы:

— основная $H_0 : r_2 = 0$ (коэффициент корреляции не значим);

— альтернативная $H_1 : r_2 \neq 0$ (коэффициент корреляции значим).

Для проверки гипотезы H_0 вычисляется наблюдаемое значение критерия:

$$T_{\text{набл}} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (2.8)$$

Критерий $T_{\text{набл}}$ является случайной величиной, которая подчиняется закону распределения Стьюдента с $k=n-2$ степенями свободы. Критическая область является двусторонней. По таблице критических точек распределения Стьюдента (в Excel функция СТЬЮДРАСПОБР) определяется критическое значение критерия $t_{кр} = t(\alpha, k)$ при выбранном уровне значимости ошибки $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,01$ и числе степеней свободы $k = n - 2$.

Если $|T_{\text{набл}}| > t_{кр}$, то нулевая гипотеза отвергается. Это значит, что коэффициент корреляции статистически значим.

Если $|T_{\text{набл}}| < t_{кр}$, то нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу.

Это значит, что коэффициент корреляции незначимо отличается от нуля. Делают вывод, что линейной связи между признаками нет.

Если коэффициент корреляции значим, то сила связи оценивается по шкале Чеддока (табл. 2.6) [88].

Таблица 2.6 — Шкала Чеддока

$ r $	<0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	>0,99
Сила связи	Несущественная	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая

3) Средняя квадратическая ошибка уравнения (стандартная ошибка оценки) вычисляется по формуле:

$$S_{\text{уравн}} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_i^T)^2}{n - k}}, \quad (2.9)$$

где y_i — наблюдаемые значения зависимой переменной; $y_i^T = f(x_i)$ — теоретические значения зависимой переменной, найденные из уравнения регрессии; n — объем выборки; k — число параметров (коэффициентов) в уравнении регрессии.

4) Средняя относительная ошибка аппроксимации (средняя относительная погрешность модели):

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \cdot \sum \left| \frac{y_i - y_i^T}{y_i} \right| \cdot 100\% . \quad (2.10)$$

Величина ε характеризует точность модели (табл. 2.7), т.е. среднее относительное отклонение фактических значений от расчетных.

Таблица 2.7 — Шкала для оценки точности статистической модели

ε	$\varepsilon \leq 5\%$	$5\% < \varepsilon \leq 10\%$	$10\% < \varepsilon \leq 20\%$	$\varepsilon > 20\%$
Точность модели	Высокая	Хорошая	Удовлетворительная	Неудовлетворительная

5) Ошибки первого и второго рода по выборке определяются с помощью соответствующих гипотез. Принцип реализуется поэтапно.

Формулировка основной и альтернативной гипотезы

Используются ряды исходных и расчетных данных (Y_i — фактические значения, $\hat{Y}_i = y_i^M$ — расчетные (модельные) значения показателя). Для каждого момента времени i определяется ситуация по отношению к ПДК согласно Таблице 2.8.

Таблица 2.8 — Описание различных ситуации при сравнении данных с уровнем ПДК

Обозначение ситуации	Описание ситуации в момент времени i для изучаемого показателя на основании сравнения его с ПДК	Условия проявления
A1 «Норма»	Фактическое значение в норме (не превышает ПДК)	$y_i \leq \text{ПДК}$
A2 «Выше нормы»	Фактическое значение превышает ПДК	$y_i > \text{ПДК}$
B1 «Норма»	Расчетное значение в норме (не превышает ПДК)	$y_i^M \leq \text{ПДК}$
B2 «Выше нормы»	Расчетное значение превышает ПДК	$y_i^M > \text{ПДК}$

Формулируются гипотезы: основная гипотеза H_0 (об отсутствии различий); альтернативная гипотеза H_1 — гипотеза, которую принимают, когда основную отвергают (различия значимы).

H_0 : Категории ситуаций по фактическим и расчетным данным совпадают.

H_1 : Категории ситуаций по фактическим и расчетным данным не совпадают.

Гипотеза H_0 свидетельствует о правильности прогнозной модели в момент времени i , гипотеза H_1 — о принципиальной ошибке модели.

Выбор критерия проверки гипотезы.

Критерий — это решающее правило, обеспечивающее принятие истинной или отклонение ложной гипотезы с высокой вероятностью. Для значения содержания компонента в воде критерием является ПДК. Согласно выбранному критерию по выборке рассчитывается наблюдаемое значение критерия.

Сравнение диагностируемых ситуаций:

– если наблюдаемое значение принадлежит допустимой области, то нет оснований отвергнуть гипотезу H_0 ;

– если наблюдаемое значение принадлежит критической области, то H_0 отвергают и принимают гипотезу H_1 .

Важно: гипотеза может быть отвергнута, но никогда не может быть окончательно принята. В итоге могут быть совершены ошибки:

– ошибка первого рода α — отвергнута основная гипотеза H_0 , в то время как она верна (отклонить верную гипотезу), где α — вероятность того, что сочли различия существенными, когда на самом деле они случайны. Например, $\alpha = 0,05$ означает, что в 5 случаях из 100 отвергают верную гипотезу.

– ошибка второго рода β — принята гипотеза H_0 , в то время как она неверна. Это более опасная ошибка — принять ошибочную гипотезу.

На рисунке 2.7 показана схема проверки гипотез о совпадении диагностики ситуаций по фактическим и расчетным данным. В контексте данной работы ошибка первого рода относится к неопасной, так как прогнозируется худшая ситуация, чем есть на самом деле.

Ошибка второго рода является опасной, так как прогнозируется ситуация, при которой качество воды в норме, а на самом деле имеется превышение ПДК, и, следовательно, необходимы соответствующие управленческие решения.

В завершение регрессионного анализа производится проверка выбранной модели на значениях, не вошедших в массив для исследования. Таким образом рассматриваются несколько различных моделей для каждого показателя, характеризующего качество воды. Модель, максимально соответствующая требованиям точности статистических моделей, используется для прогнозирования содержания компонента воды на будущие моменты времени [74,117].

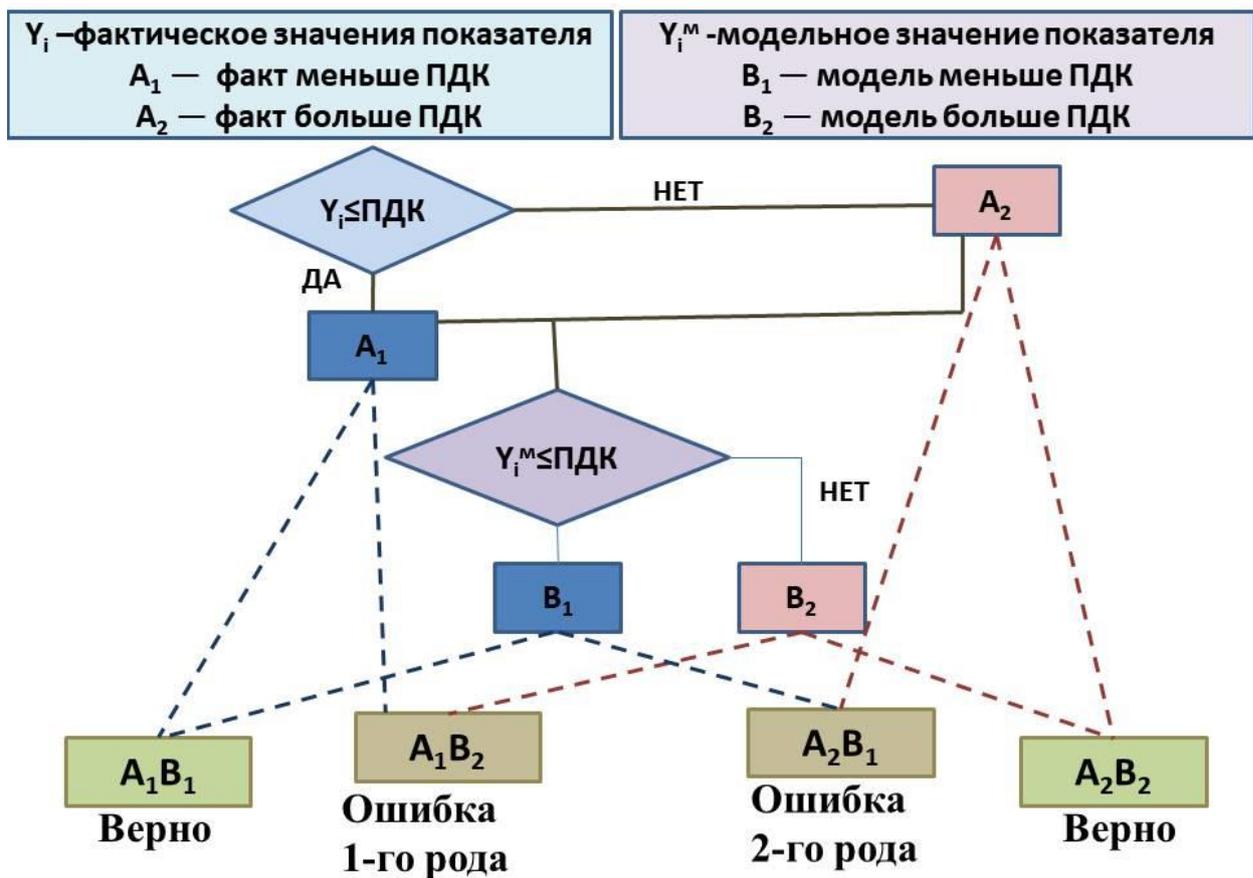


Рисунок 2.7 – Определение ошибок 1 и 2 рода для регрессионных моделей

2.3 Методики определения качества воды с использованием расчетных индексов

2.3.1 Оценка качества воды по гидрохимическим показателям

Из известных расчетных показателей, которые используются для оценки качества воды по гидрохимическим показателям с минимальным их набором является ИЗВ [42]. Данный показатель вполне отвечает требованиям данной работы, так как количество превышающих ПДК показателей равно 6.

Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) рассчитывается по формуле [42, 43]:

$$ИЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (2.11)$$

где C_i — средняя концентрация компонента, используемого для расчета ИЗВ;

$ПДК_i$ — установленная величина норматива по шести ингредиентам для соответствующего типа водного объекта.

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая водородный показатель рН, кроме биологического потребления кислорода БПК₅ (Таблица 2.9).

Учитывая, что показатель БПК₅ является интегральным показателем наличия легкоокисляемых органических веществ, а также то, что с увеличением содержания ЛОВ уменьшается содержание растворенного в воде кислорода, нормы для этих показателей принимаются следующие:

Таблица 2.9 — Норма для БПК₅, учитывается при расчете ИЗВ

Потребление O ₂ , БПК ₅	Величина мг/л, принимаемая за ПДК
До 3 мг/л	3
От 3 до 15 мг/л	2
Свыше 15 мг/л	1

Нормы содержания растворенного кислорода РК приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 — Норма для РК, учитывается при расчете ИЗВ [42]

Концентрация (мг/л)	ПДК
Свыше 6	6
Менее 6 до 5	12
Менее 5 до 4	20
Менее 4 до 3	30
Менее 3 до 2	40
Менее 2 до 1	50
Менее 1 до 0	60

При расчете значения превышения ПДК для РК используется обратная формула ПДК_с, что связано с экологической функцией РК. Чем больше РК, тем лучше качество воды.

ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того, превышают они ПДК или нет.

Концентрация РК нормируется с точностью до наоборот: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм. Для каждого диапазона концентраций РК устанавливаются специальные значения слагаемых $C_i/ПДК_i$.

Степень превышения концентрации РК над ПДК рассчитывается как норматив/содержание. Для определения класса качества воды используются данные, приведенные в таблице 2.10 [129, 130].

По результатам расчета ИЗВ делается вывод о качестве воды (Таблица 2.11).

Таблица 2.11 — Шкала ИЗВ и соответствующие ей классы качества воды [42]

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	1
Чистые	0,2-1,0	2
Умеренно загрязненные	1,0-2,0	3
Загрязненные	2,0-4,0	4
Грязные	4,0-6,0	5
Очень грязные	6,0-10,0	6
Чрезвычайно грязные	>10,0	7

Для более расширенного исследования целесообразно использовать коэффициент комплексности загрязненности воды, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды.

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) показывает долю загрязняющего эффекта, вносимого каждым показателем загрязненности воды, используемых при его расчете, приведенный к средневзвешенному значению [126].

Для расчета УКИЗВ могут использоваться как утвержденные списки показателей качества воды, так и список показателей имеющих значение для основных пользователей.

Оптимальное число показателей варьируется от 10 до 25. Минимальное количество данных 4 пробы в год. Максимальное не ограничивается [126].

Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности:

1-й класс — условно чистая; 2-й класс — слабо загрязненная; 3-й класс — загрязненная; 4-й класс — грязная; 5-й класс — экстремально грязная [126].

Большей степени загрязненности воды комплексом загрязняющих веществ соответствует больший номер класса. Детально методика и пример применения описан в РД 52.24.643—2002. В данной работе используется наряду с ИЗВ в связи с малым количеством показателей имеющим превышения [126].

Кроме гидрохимических показателей качества воды, состояние водных экологических систем можно определять по совокупности гидробиологических показателей [126].

2.3.2 Оценка качества воды по гидробиологическим показателям

Комплекс гидробиологических показателей включает в себя показатели разнообразия, сапробности и микробиологические показатели. Среди биологических методов анализа поверхностных вод сапробиологический анализ занимает одно из главных мест [1, 4, 7, 11, 13, 17, 18, 19, 20, 33, 35, 36, 44, 45, 104, 106, 111, 120].

Система сапробности — это быстрая и емкая оценка типа водоема в зависимости от соотношения обилий отдельных видов индикаторных организмов [1, 7, 120].

Полисапробная зона или полисапробные воды с химической позиции характеризуются очень низким содержанием кислорода и большими концентрациями растворенной углекислоты и высокомолекулярных легко разлагающихся бактериями органических веществ - белков, углеводов. Кислород поступает в воду только за счет атмосферной аэрации и полностью расходуется на окисление. В этих водах интенсивно протекают процессы разложения органического вещества с образованием сернистого железа в донных осадках и сероводорода. Население полисапробных зон обладает незначительным видовым богатством, но отдельные виды могут достигать огромной плотности. Аэрофильные организмы полностью отсутствуют. Очень много сапрофитной микрофлоры. Хорошо развиты гетеротрофные организмы [1, 7, 120]

α -мезосапробная зона — характеризуется энергичным самоочищением, в ней присутствуют аминокислоты и амидокислоты, условия среды полуанаэробные, характер биохимических процессов восстановительно-окислительный; присутствует сероводород. В процессах очищения вод от органических загрязнений принимают активное участие зеленые растения, выделяющие кислород в процессе фотосинтеза. Среди последних встречаются некоторые сине-зеленые, диатомовые и зеленые водоросли. Количество сапрофитных бактерий в данной зоне определяется десятками и сотнями тысяч в 1 см^3 . Содержатся организмы, приспособленные к недостатку кислорода и высокому содержанию углекислоты. Преобладают растительные организмы с гетеротрофным и миксотрофным питанием [1, 7, 120].

β -мезосапробная зона — в данной зоне преобладают такие продукты минерализации белков, как аммонийные соединения, нитраты и нитриты, кислорода обычно много, нередко наблюдается перенасыщение кислородом. Содержание кислорода и углекислоты колеблется в зависимости от времени суток: днем избыток кислорода, дефицит углекислоты; ночью — наоборот. В данной зоне нет нестойких органических веществ, произошла полная минерализация. Сапрофитов — тысячи клеток в 1 мл, их количество резко увеличивается в период отмирания растений. Ил желтый, идут окислительные процессы, много детрита. Процессы самоочищения протекают менее интенсивно, чем в α -мезосапробных зонах. Много организмов с автотрофным питанием, наблюдается цветение воды, так как сильно развит фитопланктон [1, 7, 120].

Олигосапробная зона — чистые воды, в данной зоне присутствуют соединения азота в форме нитратов, вода насыщена кислородом; мало углекислого газа, сероводорода нет. Олигосапробные воды представлены, например, практически чистыми водами больших озер. В олигосапробных водах богато представлены многие золотистые и динофитовые. Цветения не бывает. На дне мало детрита, автотрофных организмов и бентосных животных (червей, моллюсков, личинок хирономид) [1, 7, 120].

Ксеносапробная зона — это воды чистых горных ручьев, небольших ледниковых рек, выходы ключей, обедненные биотой и содержащие минимальные количества минеральных соединений и следы органических веществ [1, 7, 120].

Гиперсапробная зона — в данной зоне практически полностью отсутствуют какие-либо организмы, за исключением бактерий и грибов. Так, Р. Кольквитц и М. Марссон не только определили зоны сапробности, но и дали списки видов, характерных для каждой из этих зон. В своих работах они продемонстрировали очередность исчезновения и повторного появления организмов — водорослей, простейших, макробеспозвоночных и рыб в результате воздействия загрязняющих веществ [1, 7, 120, 151].

Одним из методов определения сапробности является метод прямой оценки по списку организмов. Индексы сапробности по методу Пантле и Букка вычисляются по формуле [1]:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h}, \quad (2.12)$$

где h — это численность вида, или относительная частота встречаемости особей вида, характеризуемая следующими оценками (Таблица 2.12);

Таблица 2.12 — Соотношение значений обилия и частоты встречаемости организмов [1]

Встречаемость	Количество экземпляров одного вида, % от общего количества	h , баллы
Очень редко	<1	1
Редко	2-3	2
Не редко	4-10	3
Часто	10-20	5
Очень часто	20-40	7
Масса	40-100	9

S - условное значение сапробности характеризуется следующими числами:

0 – ксеносапробная, 1 – олигосапробная, 2 – β -мезосапробная, 3 – α -мезосапробная, 4 – полисапробная, 5 – гетеросапробная зона.

Заключение о степени загрязненности воды дают обычно по системе баллов от одного до шести с точностью до одной сотой (Таблица 2.13)[1]. По индексам сапробности можно судить о степени загрязненности водоема (Таблица 2.13).

Таблица 2.13 — Степень загрязнения водоема [1]

Тип водоема	Состояние воды	Индекс сапробности
ксеносапробный водоем	очень чистые воды	0-0,5
β -олигосапробный водоем	чистые воды	1,50–0,51
β -мезосапробный водоем	загрязненные воды	2,50–1,51
α -мезосапробный водоем	загрязненные воды	3,50–2,51
β -полисапробный водоем	грязные воды;	4,00–3,51
α -полисапробный водоем	грязные воды	4,00–3,51
гиперсапробный водоем	очень грязные воды	более 4,0

2.3.3 Оценка качества воды по микробиологическим показателям

Самоочищение водоемов может осуществляться в анаэробных и аэробных условиях. Анаэробными являются процессы разрушения органических веществ преимущественно с участием бактерий, грибов и простейших. В этом случае в процессе распада органического материала в среде накапливаются промежуточные продукты (аммиак, сероводород, низкомолекулярные жирные кислоты и др.), которые при наличии кислорода окисляются далее [11, 13, 16, 17, 18, 20, 32, 33, 39, 44, 46, 49, 63, 77, 105, 121, 127, 129, 130, 146].

В аэробных условиях разрушение органического субстрата осуществляется в присутствии кислорода до простых соединений, которые в дальнейшем вовлекаются в биотический круговорот. В этом процессе принимает участие практически все население водоемов.

Бактерии и фитопланктон пресных водоемов принимают активное участие в самоочищении водоемов, в которые постоянно поступают все новые органические вещества: разлагающиеся трупы животных, остатки водорослей, органика материкового стока, сточные воды и т.д. В присутствии растворенного в воде кислорода эти органические вещества разлагаются микроорганизмами до минеральных соединений, которые используются водорослями в процессе роста и фотосинтеза. В свою очередь, процесс фотосинтеза вновь обогащает окружающую среду кислородом. Ниже по течению от мест, куда поступают сточные воды, благодаря деятельности бактерий физико-химические свойства речной воды восстанавливаются. При этом сложные органические вещества разлагаются до простых неорганических соединений. Но любое самоочищение имеет свои пределы. Высокое содержание органических веществ в водоемах влечет за собой ускоренные темпы размножения микроорганизмов и, как следствие, значительное снижение растворенного в воде кислорода. В среде с низким содержанием кислорода преобладают анаэробные бактерии. Последние уже не могут обеспечить полного разложения органических веществ до минеральных соединений, а в результате их деятельности в окружающую среду выделяются токсичные газы (например, сероводород).

Соотношение численности групп аллохтонных микроорганизмов и сапрофитных позволяет судить об интенсивности процесса самоочищения, активными участниками которого они являются.

Эта разница более выражена при завершении процесса самоочищения (коэффициент соотношения ОМЧ 22 °С за 48 часов к ОМЧ 37 °С за 24 часа равен четырем и выше) [105, 141].

2.4 Теоретические основы выполнения оценки качества воды водоема по направлениям использования

2.4.1 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как сырья для производства питьевой воды

Качество воды поверхностных и подземных источников, которые используются для производства питьевой воды, нормируется и оценивается по следующим нормативным документам:

– ГОСТ 2861-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения [51];

– ГСТУ 4808-2007 Источники централизованного питьевого водоснабжения [55];

– СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации общественных помещений, организации и проведению санитарно-эпидемических мероприятий»[130];

– СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания "[129].

Санитарно-эпидемиологические требования к водным объектам сформулированы следующим образом. Качество воды поверхностных и подземных водных объектов, используемых для водопользования населения, должно соответствовать гигиеническим нормативам в зависимости от вида использования водных объектов или их участков:

– в качестве источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности (первая категория водопользования);

– для рекреационного водопользования, а также участки водных объектов, находящихся в черте населенных мест (вторая категория водопользования) [141].

Хозяйственные субъекты, осуществляющие водопользование, обязаны:

– проводить санитарно-противоэпидемиологические мероприятия, направленные на соблюдение гигиенических нормативов качества воды поверхностных водных объектов;

– контролировать состав сбрасываемых сточных вод и качество воды водных объектов;

– своевременно информировать территориальный орган федерального органа исполнительной власти, уполномоченного на осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля об угрозе возникновения, а также при возникновении аварийной ситуации, представляющей опасность для здоровья населения или условий водопользования.

Оценку качества воды в поверхностных и подземных источниках в зависимости от ее конкретного назначения можно выполнять, используя три методических подхода:

- по значениям отдельных показателей;
- по значениям блочных интегральных индексов (без учета общего уровня хронической токсичности воды, который определяют в исключительных случаях);
- по значениям интегрального комплексного индекса.

Оценивание качества воды в поверхностных и подземных источниках централизованного питьевого водоснабжения по значениям отдельных показателей выполняют тогда, когда необходимо получить предварительное представление о качестве воды в местах водозабора в любое время. При исследовании поверхностных источников значения отдельных показателей качества воды сравниваются с нормами, которые содержатся в НД. И в зависимости от концентрации водоему присваивается 1-3 класс [51].

Следующие два способа внесены в ГСТУ 4808-2007 [55], который действовал на территории ЛНР ранее и еще используется до момента полного перехода в законодательную среду РФ [16, 50].

Оценивание качества воды в поверхностных и подземных источниках по значениям интегральных блочных индексов (основательное) выполняют для убедительных и ответственных выводов и решений по качеству воды в этих источниках на основании арифметической обработки эмпирических значений всех (полное оценивание) или нескольких (неполное оценивание) показателей I, II, III, IV, V, VI, VII групп. Эмпирические значения показателей качества воды, принадлежащие к каждому из этих блоков, получают в результате систематических исследований (мониторинга) гигиенического и экологического состояний поверхностных и подземных источников [40].

Основательно оценки качества воды в поверхностных и подземных источниках питьевого водоснабжения по групповым индексам выполняют по процедуре, которая состоит из трех последовательных этапов:

– этап группировки и обработки исходных данных гигиенических и экологических показателей качества воды; – этап определения классов качества воды источника водоснабжения; – этап обобщения оценивания качества воды и согласование их с технологическими приемами кондиционирования поверхностных и подземных вод в зависимости от физико-химической и микробиологической природы загрязняющих примесей [150].

Имея средние и худшие значения групповых индексов качества воды, определяют их принадлежность к определенному классу качества воды. В таблице 2.15 по значению средних блоковых индексов определяется качество воды.

Таблица 2.15 – Схема определения классов и подклассов качества воды в поверхностных и подземных водных объектах — источниках централизованного питьевого водоснабжения [55]

Обозначение классов качества воды	Средние значения блоковых индексов качества воды	Обозначение подклассов качества воды	Характеристика классов и подклассов качества воды
1	2	3	4
1	1,00-1,25 1,26-1,50	1 1(2)	«Отличная», очень чистая вода «Отличная», с отклонением к классу «Хорошей», чистой воды с желаемым качеством
2	1,51-1,75 1,76-1,99 2,00-2,25 2,26-2,5	1-2 2(1) 2 2(3)	Вода, переходящая по качеству от «Отличной», к «Хорошей», чистая вода «Хорошая», чистая вода с отклонением от класса «Отличная» «Хорошая» вода допустимого качества «Хорошая», чистая вода с отклонением к классу «удовлетворительной» слабо загрязненного допустимого качества
3	2,51-2,75 2,76-2,99 3,00-3,25 3,26-3,50	2-3 3(2) 3 3(4)	Вода, переходящая от качества «Хорошей», к «Удовлетворительной», слабозагрязненной «Удовлетворительная», слабо загрязнена с отклонением к «хорошей» «Удовлетворительная», слабо загрязнённая вода приемлемого качества «Удовлетворительная», слабо загрязненная вода с отклонением к классу «Ограниченно приемлемая», нежелательного качества
	3,51-3,75 3,76-3,99 4,00	3-4 4(3) 4	Вода, переходящая по качеству от «Удовлетворительной», к «Ограниченно допустимой» «Ограниченно допустимая», нежелательного качества с отклонением к классу «Удовлетворительной» «Посредственная», «Ограниченного использования»

Значение блоковых индексов качества воды в поверхностных и подземных источниках питьевого водоснабжения могут быть выражены как целыми, так и дробными числами. Использование дробных значений блочных индексов и вычисленных на их основе подклассов качества воды позволяет дифференцировать оценки качества воды, делать оценку более гибкой и точной. Для определения подклассов качества воды надо диапазоны дробных значений (с точностью до сотых) в пределах отдельных групп показателей поделить на равные части и обозначить соответствующим образом согласно приведенной выше схеме определения классов и подклассов качества воды в поверхностных и подземных водных объектах - источниках централизованного питьевого водоснабжения.

2.4.2 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для предприятий металлургического производства и коммунальных служб

В металлургии используют воду для охлаждающих, технических и хозяйственно-бытовых нужд. Больше 80 % приходится на системы охлаждения оборудования, в том числе охлаждения печей, и на конденсацию пара для увлажнения воздуха, подаваемого в машинные отделения и цеха.

На металлургических производствах работают с двумя типами воды:

- оборотная вода - техническая вода многократного использования;
- добавочная вода - вода, которая прошла термическую и химическую обработку и предназначена для восполнения потерь.

Для каждого типа воды есть свои требования. Для достижения требуемых параметров воду подготавливают непосредственно на предприятии.

Из-за высокого водопотребления 85 % металлургических предприятий используют поверхностные источники. Вода этих источников требует многоступенчатой очистки.

От качества исходной воды зависят механизмы и реагенты, затрачиваемые при водоподготовке.

Для питания тепловых сетей используется как водопроводная вода, так и вода поверхностных источников. Вода для тепловых сетей обязательно поддается обработке. Главная задача водообработки - умягчение воды. Соли жесткости (кальция и магния) при нагревании образуют крепкие известковые налеты на внутренних поверхностях оборудования. Из-за этого начинает снижаться теплопроводность и увеличивается расход энергоресурсов [98].

Также важную роль в водоподготовке занимает исключение возможности засоров труб и образования различных отложений. Такие проблемы возникают из-за механических частиц, железа, марганца и органики в воде.

Также характерной проблемой водоподготовки тепловых сетей являются коррозионно-активные примеси в воде. Кислород, хлориды, сульфиты разрушающе воздействуют на поверхности оборудования теплоснабжения, существенно снижая срок его эксплуатации.

Таким образом, при оценке качества воды для металлургии и тепловых сетей учитываются объемы безопасного забора воды и расходы на транспортировку и водоподготовку. При выборе источника происходит сравнение исходного состава воды и соизмеряются затраты на доставку и водоподготовку [40, 106, 112, 125, 130, 143, 148].

2.4.3 Оценка водоема как объекта рекреации

Для исследования водоемов как объектов рекреации разработана методика, охватывающая как экологические аспекты водоемов, так и потребительские. В качестве объектов для сравнения могут выступать разные водоемы и отдельные места отдыха одного водоема [4, 7, 13, 19, 21, 30, 33, 65, 57, 68, 83, 86, 102, 110, 111, 118].

Наиболее распространенными местами отдыха городского и сельского населения являются проточные и непроточные водоёмы, особенно если они расположены в районе населенного пункта. Водные объекты должны соответствовать определенным требованиям и нести соответствующую их особенностям рекреационную нагрузку. Однако часто санитарная и экологическая ситуация не учитывается при выборе места досуга, что приводит, с одной стороны, к отрицательному воздействию на здоровье человека, а с другой - превышению в значительной степени допустимых нагрузок на рекреационные ресурсы.

Предметом исследования методики являются показатели качества поверхностных вод (физические, бактериологические, гидробиологические и химические) как индикаторов экологического состояния анализируемых водоёмов и субъективные показатели пользователей (местонахождение, транспортная развязка, состояние берегов, наличие инфраструктуры для отдыха) [141].

Задачи метода: провести анализ состояния вод исследуемого водного объекта на основе комплекса показателей; осуществить оценку качества поверхностных вод

анализируемых водоёмов г. Алчевска и Перевальского района, используемых в рекреационных целях.

В разработанной методике рассматриваются 2 оценочных блока:

1. Оценка (W) качества воды, включающая в себя:

- физико-химические показатели (X);
- микробиологические показатели (Y);
- гидробиологические показатели (Z);
- индекс сапробности (K).

2. Оценка (U) удобства (комфортности и безопасности) водоема, включающая в себя:

- транспортную развязку (T);
- обустройство пляжей, доступность качественного отдыха (D);
- безопасность пляжа, качество дна мелководья, наличие ям, скорость течения (B).

Схема общей экологической оценки водного объекта как места отдыха представлена на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Схема общей экологической оценки водного объекта, используемого в рекреационных целях [19, 119, 141]

Для того чтобы уравнивать значения разных по своей ценности и информативности показателей, потребовалось перевести показатели в 5-балльную шкалу оценивания: от 1 (лучшее) до 5 (худшее значение показателя) (Рисунок .2.9).

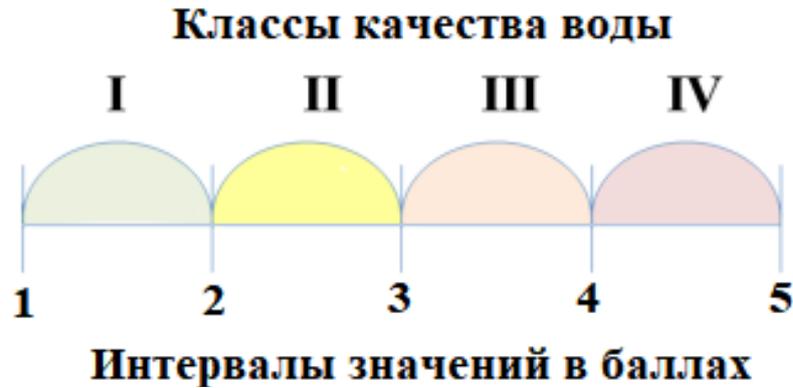


Рисунок 2.9 – Распределение классов качества воды [141]

Первый блок. Оценка качества воды W определяется по формуле [19]

$$W = \text{среднее } \{X, Y, Z, K\} , \quad (2.13)$$

где W — интегральный показатель качества водоёма, представляющий собой систему оценок X, Y, Z, K , найденных на предыдущих этапах (рис. 2.8): Y — итоговый унифицированный показатель раздела «физико-химические показатели качества воды водоёмов», приведенный в 5-балльной шкале; Z — итоговый унифицированный показатель раздела «микробиологические показатели качества воды водоёмов», указанный в 5-балльной шкале; K — итоговый унифицированный показатель раздела «гидробиологический показатель качества воды водоёмов (индекс сапробности)», приведенный в 5-балльной шкале; X — итоговый унифицированный показатель индекса самоочищения водоёма, приведенный в 5-балльной шкале.

Органолептические и физико-химические показатели качества воды водоёмов, подвергавшихся анализу (Y): рН, мутность, общая минерализация (физико-химические показатели), запах и цветность воды (органолептические).

Показатель рН свидетельствует о кислотно-щелочном балансе воды. От данного показателя зависит коррозионная скорость протекания химических реакций и степень токсичности загрязняющих веществ. В водоёмах в зонах рекреации величина рН должна находиться в интервале значений 6,5–8,5. Отклонением необходимо считать значения ниже 6,5 и выше 8,5. В таблице 2.15 представлена характеристика воды по значениям.

Низкий уровень рН в водоёме означает, что происходит увеличение уровня ионов водорода, а вода становится более кислой. Высокий уровень рН показывает, что в воде

слишком много гидроксид-ионов, что делает воду более щелочной. Важно, что щелочная реакция является недопустимой для жизнедеятельности некоторых видов гидробионтов.

Таблица 2.15 – Характеристика воды по величине рН [19]

Величина	Характеристика вод
<3	Сильно-кислые
3-5	Кислые
5-6,5	Слабо-кислые
6,5-7,5	Нейтральные
7,5-8,5	Слабо-щелочные
8,5-9,5	Щелочные
>9,5	Сильно-щелочные

Запахи необходимо различать по интенсивности от 1 до 5 баллов (табл. 2.16), а также по характеру (сероводородный, запах нефти и парафина, рыбный, землистый, травянистый, затхлый, плесени, гниющих растений и т. д.)

Таблица 2.16 – Система балльной оценки интенсивности запахов водных объектов [19]

Оценка в баллах	Величина показателя	Интенсивность	Характеристика воды
1	0-1	Нет, либо очень слабый	Запах не ощущается, обнаруживается только опытным наблюдением (в лаборатории), отдыхающий его не чувствует
2	2	Слабый	Запах обнаруживается только тогда, когда на него обращают внимание
3	3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый и дающий повод относиться к воде неодобрительно
4	4	Отчетливый	Запах привлекает внимание, заставляет отказаться от использования воды
5	5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для использования

Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов (величина ПДК равна 2 баллам).

Цветность воды представляет собой природное свойство, обусловленное наличием гуминовых веществ, вымываемых в воду из почвы. Данные вещества образуются в результате нарушений микробиологического характера и синтеза нового органического вещества (гумуса). ПДК составляет 20 град. Схема определения цветности представлена в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Характеристика цветности воды [19]

Оценка в баллах	Величина показателя	Характеристика воды
1	До 25	Очень малой цветности
2	>25-50	Малой цветности
3	>50-80	Средней цветности
4	>80-120	Высокой цветности
5	>120	Очень высокой цветности

Общая минерализация — показатель количества содержащихся в воде растворённых веществ минерального и органического происхождения (преимущественно неорганические соли и органические вещества). Растворённые газы при вычислении общей минерализации не учитываются.

Также этот показатель называют содержанием твёрдых веществ, общим солесодержанием или общим количеством растворённых частиц. ПДК равняется 1 г/дм³. Оценка качества воды по сухому остатку содержится в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Качество воды по сухому остатку [19]

Оценка в баллах	Значение показателя, 1г/дм ³	Характеристика воды
1	до 1	Пресные
2	>1-25	Солоноватые
3	>25-50	Соленые
4	>50	Рассолы

Результаты, полученные в ходе анализа органолептических и физико-химических показателей, переведены в баллы и внесены в таблицу 2.19.

Таблица 2.19 – Органолептические и физико-химические показатели водных объектов [141]

Водоем	рН	Цветность	Общая минерализация, мг/дм ³	Запах, балл	Итоговое значение
	У1	У2	У3	У4	У
min-max	1–5	1–5	1–5	1–5	

Санитарно-микробиологические показатели (Z) считаются главными параметрами эпидемиологической безопасности воды.

Обобщённые колиформные бактерии — относятся к индикаторной группе бактерий, которая указывает на фекальное загрязнение воды и возможность присутствия возбудителей водоассоциированных бактериальных кишечных инфекций [105, 141].

Колифаги являются вирусами кишечной палочки (*Escherichia coli*) и рассматриваются эпидемиологами как дополнительный, а порой и более чувствительный метод в определении загрязнения воды микроорганизмами группы кишечной палочки. Это нормируемый показатель, который предназначен для проведения текущего контроля качества воды поверхностных водоемов, служащих источником для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, водоснабжения пищевых предприятий, для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест в отношении возможного вирусного загрязнения [105, 141].

Общее число микроорганизмов (ОМЧ) не нормируется в воде водоёмов в местах действующих водозаборов централизованного питьевого водоснабжения, черте населенных мест, зонах рекреации, поскольку уровень этой группы микроорганизмов в большей мере зависит от природных особенностей каждого объекта, времени года и т. п [105, 141].

ОМЧ при температуре инкубации 37°C — индикаторная группа микроорганизмов, в числе которых определяют в большей мере аллохтонную микрофлору, внесенную в водоём в результате антропогенного загрязнения, в т. ч. Фекального [105, 141].

ОМЧ при температуре инкубации 20–22 °C — индикаторная группа микроорганизмов, в числе которых, помимо аллохтонной, определяют водную микрофлору данного водоёма (автохтонную). При температуре 22 °C, как правило, вырастает больше сапрофитных микроорганизмов, чем при температуре 37 °C [105, 141].

Баллы по микробиологическим показателям выставлялись согласно шкале, которая представлена ниже (таблица 2.20).

Таблица 2.20 – Критерии оценки качества воды водоёмов по микробиологическим показателям Z [19, 141]

Показатели /балл	1	2	3	4	5
Обобщенные колиформы КОЕ/100см ³	0–10	11–100	101–1000	1001–5000	>5000
Колифаги, БОЕ/дм ³	отсутствуют	10	100	1000	>1000
ОМЧ, КОЕ /см ³	0-99	100-999	1000-9999	10000-99999	>100000

Индекс самоочищения воды (К) [105]

Загрязнения водоемов подразделяют на аллохтонное, которое вносится извне, и автохтонное — собственное загрязнение. Автохтонное загрязнение происходит в результате жизнедеятельности водных организмов, в том числе и прибрежно-водной растительности. В результате гибели живых организмов в среду поступают метаболиты, биогенные вещества и продукты распада.

Аллохтонные загрязнения приносят в водоемы сточные воды, поверхностные стоки, а также дождевые и воздушные массы. Особой формой загрязнения является эвтрофикация водоемов, т.е. обогащение их биогенными веществами, что приводит к интенсивному развитию водорослей и прибрежно-водных растений. Это в основном случается за счет поступления в водоемы бытовых и сельскохозяйственных стоков.

Способность же водной растительности к накоплению и использованию вредных веществ (прежде всего фосфора и азота) делает их активными участниками процесса самоочищения водоемов.

Самоочищение водоемов может осуществляться в анаэробных и аэробных условиях. Анаэробными являются процессы разрушения органических веществ преимущественно с участием бактерий, грибов и простейших. В этом случае в процессе распада органического материала в среде накапливаются промежуточные продукты (аммиак, сероводород, низкомолекулярные жирные кислоты и др.), которые при наличии кислорода окисляются далее.

В аэробных условиях разрушение органического субстрата осуществляется в присутствии кислорода до простых соединений, которые в дальнейшем вовлекаются в биотический круговорот. В этом процессе принимает участие практически все население водоемов.

Бактерии и фитопланктон пресных водоемов принимают активное участие в самоочищении водоемов, в которые постоянно поступают все новые органические вещества: разлагающиеся трупы животных, остатки водорослей, органика материкового стока, сточные воды и т.д. В присутствии растворенного в воде кислорода эти органические вещества разлагаются микроорганизмами до минеральных соединений, которые используются водорослями в процессе роста и фотосинтеза. В свою очередь, процесс фотосинтеза вновь обогащает окружающую среду кислородом. Ниже по течению от мест, куда поступают сточные воды, благодаря деятельности бактерий физико-химические свойства речной воды восстанавливаются. При этом сложные органические вещества разлагаются до простых неорганических соединений. Но любое самоочищение имеет свои пределы. Высокое содержание органических веществ в водоемах влечет за собой ускоренные темпы

размножения микроорганизмов и, как следствие, значительное снижение растворенного в воде кислорода. В среде с низким содержанием кислорода преобладают анаэробные бактерии. Последние уже не могут обеспечить полного разложения органических веществ до минеральных соединений, а в результате их деятельности в окружающую среду выделяются токсичные газы (например, сероводород) [1, 19, 95, 104, 141, 151].

Важную роль в процессах самоочищения играют прибрежно-водные растения. Выделяя при фотосинтезе кислород, они благотворно влияют на кислородный режим прибрежной зоны водоема. Бактерии, которые обитают на поверхности растений и водорослей (перифитон), также участвуют в очистке воды. В зарослях прибрежно-водных растений развивается фитофильная фауна, которая играет важную роль в самоочищении воды и донных отложений; организмы бентоса утилизируют органическое вещество илов и обитающих там бактерий.

Под влиянием всех этих процессов в воде повышается содержание растворенного кислорода, возрастают ее прозрачность и содержание биогенных веществ, снижаются минерализация воды и количество промежуточных продуктов распада органического вещества.

Соотношение численности групп аллохтонных микроорганизмов и сапрофитных позволяет судить об интенсивности процесса самоочищения, активными участниками которого они являются.

Эта разница более выражена при завершении процесса самоочищения (коэффициент соотношения ОМЧ 22°C/ОМЧ 37°C равен четырем и выше). В таблице 2.21 представлены критерии оценки для индекса самоочищения воды.

Таблица 2.21 — Критерии оценки индекса самоочищения воды [19, 141]

Оценка в баллах	Индекс самоочищения
1	> 15.4
2	4.4-15.4
3	2.8-4.4
4	2.2-2.8
5	< 2.2

Согласно индексу сапробности выставляется оценка за блок самоочищения.

Гидробиологические показатели (X) оцениваются по индексу сапробности водных объектов исходя из индивидуальных характеристик сапробности вида, представленных различными сообществами (таблица 2.22).

Таблица 2.22 — Критерии оценки гидробиологического показателя водных объектов [1]

Оценка в баллах	Величина показателя сапробности	Характеристика воды
1	0-0,49	Ксеносапробная зона (очень чистая вода)
2	0,5-1,5	Олигосапробная зона (чистая вода)
3	1,51-2,5	β -мезосапробная зона (умеренно-загрязненная вода)
4	2,51-3,5	α -мезосапробная зона (грязная вода)
5	3,51-4,5	Полисапробная зона (сильно загрязненная вода)

Для удобства и наглядности оформления итоговой таблицы предложена следующая характеристика, представленная в таблице 2.23.

Таблица 2.23 — Характеристики интегральной оценки воды в зависимости от степени загрязненности водоемов [1]

Класс качества воды	Оценка качества воды
1	2
I	Хорошее, приемлемое качество
II	Удовлетворительное, приемлемое качество
III	Посредственное, нежелательное качество
IV	Очень плохое качество

Результаты оценивания блока качества воды заносятся в общую таблицу с учетом цветовой характеристики

Второй блок. Оценка U удобства и безопасности водоема определяется по формуле:

$$U = \text{среднее}(T, D, B) \quad (2.14)$$

Данная оценка субъективна, но зачастую играет роль при выборе места отдыха. Для выполнения оценивания была составлена анкета для опроса отдыхающих по берегам водоемов (Приложение Ж) [19, 141].

Транспортная развязка (Т) включает в себя следующие пункты для формирования оценки:

- расположение водоема — в населенном пункте, пригород, далеко за городом, отдален от цивилизации;
- как добраться — пешком, часто ходит рейсовый транспорт, можно добраться личным автомобилем и есть место для стоянки автомобиля, ездят пригородные автобусы недалеко от водоема;
- качество дорожного покрытия — асфальтированная дорога, грунтовая дорога, заросшие поля [19, 141].

Данная оценка ставится с учетом того, насколько легко, комфортно и быстро можно добраться к водоему и обратно.

Обустройство пляжей доступность качественного отдыха (D) включает в себя следующие пункты:

- обустроенные пляжи с качественным покрытием, заброшенные пляжи с остатками удобств, дикие пляжи, заросли и каменные выступы;
- есть аттракционы, горки, аренда инвентаря, есть места для спортивных игр, наличие лежаков;
- магазины и ларьки с напитками и продуктами на пляже, магазин в пешей доступности, магазин в 10 мин и более ходьбы [19, 141].

Безопасность пляжа, качество мелководья, наличие ям, скорость течения (B):

- своевременный вывоз мусора с пляжа, чистый берег, уход за пляжем отдыхающими, дикий пляж, усыпанный следами отдыха;
- чистый грунт мелководья, илистое дно мелководья, камыши;
- ровный заход в воду, постепенное нарастание глубины, ямы и провалины [19, 141].

Таким образом, оценка качества этого блока показателей, составленная наблюдателями, представлена в таблице 2.24.

Таблица 2.24 – Критерии оценки составляющих удобства водоема для отдыха (U)

Оценка в баллах	Транспорт (Т)	Обустройство и комфорт (D)	Безопасность и качество берега (U)
1	2	3	4
1	Водоем расположен в городе, к нему ходит рейсовый транспорт, есть автомобильная	По берегам достаточно обустроенных пляжей, есть базы отдыха, регулярно убираются,	Берег песок или галька, обустроен, очищен от стекол и камней, дно мелководья галька или песок, ям и

Продолжение таблицы 2.24

1	2	3	4
1	дорога хорошего качества	рядом магазины и места для развлечения	провалин нет, плавное постепенное увеличение глубины
2	Водоем находится в пригороде, есть рейсовый транспорт и хорошие дороги	Пляжи обустроены, мест где остановиться нет, магазины в пешей доступности	Берег песок или галька, дно мелководья песок или ил, ям и провалин нет, плавное увеличение глубины
3	Водоем далеко за городом, автобусы ездят регулярно, машиной добраться не составляет труда	Пляжи заброшены, за состоянием пляжей следят отдыхающие, магазины есть, но на приличном расстоянии	Пляжи сформированы, но заброшены, береговая линия загрязнена остатками водорослей, дно мелководья песок или ил, ям и провалин нет
4	Водоем далеко от населенных пунктов, рейсовых автобусов нет, дорога не идеальна	Есть дикие пляжи, за состоянием пляжа следят сами отдыхающие, магазины далеко.	Старые дикие пляжи, не убрано, дно мелководья илистое, возможны острые осколки
5	Водоем далеко от "цивилизации", рейсовый транспорт не ходит, дорога плохая	Дикие необустроенные места, все необходимое нужно брать с собой.	Берег каменистый, поросший травой, дно мелководья каменистое или илистое, возможны ямы, провалины и обрывы.

Значения заносятся в общую таблицу 2.25 и акцентируются определенным цветом для наглядности.

Таблица 2.25 – Классы качества воды по шкале удобства и безопасности [19, 141]

Класс качества воды	Оценка удобства и безопасности водоема по показателю U
1	2
I	Водоем недалеко, можно легко добраться, берег и дно ухоженное и безопасное, магазины в пешей доступности
II	К водоему можно добраться только на транспорте, берег официально не убирается, но силами отдыхающих там чисто и безопасно, магазины расположены не очень близко
III	Проблемы с транспортом до места отдыха, дорога в неподходящем состоянии, пляжи дикие, дно опасное
IV	Водоем находится на значительном расстоянии от населенных пунктов, подъезд к водоему затруднен, мест для отдыха нет, дно опасное

При составлении общего вывода о пригодности водоема как места отдыха пользователь ориентируется на те критерии, которые для него имеют существенное значение, но при этом следует обращать внимание на качество воды.

Также, для выбранных водоемов рассчитан рекреационный потенциал [119].

Рекреационный потенциал водоема [6], рассчитываемый по формуле (2.14):

$$R = \frac{d \cdot L}{S_{\min}}, \quad (2.14)$$

где R – рекреационный потенциал водоема (тыс. чел.),

L – длина береговой линии (м), d – ширина береговой полосы водоемов общего пользования (м),

S_{\min} – минимальная площадь береговой зоны пресноводных водоемов на 1 человека (m^2), регулируется ГОСТ Р 55698-2013.

Значение рекреационного потенциала R водоема в каждом конкретном случае корректируется с учетом доступности береговой зоны для целей рекреации.

Результаты комплексной оценки водоемов как объектов рекреации внесены в таблицу 2.26.

Таблица 2.26 – Итоги комплексной оценки водоемов как объектов рекреации [119]

Водоем	Оценка качества воды (W)	Оценка удобства и безопасности (U)	Рекреационный потенциал водоема (% населения региона)
min-max	1-5	1-5	

Для внедрения и проверки адекватности данной методики проведена сравнительная оценка водоемов ЛНР, а также сравнительная оценка пляжей Исаковского водохранилища. Результаты оценки представлены в Разделе 4.

2.4 Выводы по главе 2

1. На основе лабораторных исследований результатов анализов воды и личных наблюдений автора составлены 6 массивов данных, которые содержат информацию о качестве воды на протяжении 8 лет по 38 показателям качества воды и технологических параметров цеха водоподготовки ООО «ЮГМК».

2. Разработан статистический подход к оценке динамики изменения ряда важных показателей качества воды, включающий использование основных статистических характеристик выборки, моделирование на основе исследования динамики изменения

временных рядов, моделирование и прогнозирование изменения показателей качества воды на основе множественной регрессии.

3. Разработан алгоритм оценки адекватности и приемлемости моделей изменения показателей качества воды на основе временных рядов и множественной регрессии.

4. Проанализированы и выделены оптимальные методики для оценки водоемов по направлениям использования: техническое водоснабжение предприятий и садовых обществ, производство питьевой воды, занятия спортом и отдых на водоемах.

5. Разработана методика исследования водоемов как объектов для рекреации и отдыха на основе множества показателей качества воды и экспертных оценок рекреационных зон, внесена формула для расчета рекреационного потенциала водоема.

ГЛАВА 3. НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ 1 – СИСТЕМА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВОДОЕМОВ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1 Оценка экологической безопасности по отдельным показателям

Динамика превышений предельных значений показателей качества и корреляционные связи между исследуемыми показателями качества воды представлена в таблице 3.1.

В природных условиях наиболее полно оценить экологическое состояние водоема возможно только при изучении комплекса параметров основных элементов водной биоты и среды ее обитания.

Задачей проводимых исследований является получение и накопление информации о видовом разнообразии определенных групп гидробионтов, а также анализ комплекса физико-химических, химико-биологических и микробиологических показателей воды водоема.

База данных содержит сведения о 28 показателях качества воды Исаковского водохранилища[21]. Первичная обработка массива данных выявила превышение и отклонение от нормы по 6 показателям. Таблица 3.1 отображает период с превышениями ПДК по показателям.

Таблица 3.1 – Превышение ПДК за период 2014-2022 гг.

№ п/п	Наименование показателей	Обозначение		НД	Период года
1	2	3		4	8
1	Сухой остаток	X13	Y13	СанПиН 1.2.3685-21.	Весь год
2	Сульфаты	X14	Y14	СанПиН 1.2.3685-21.	Весь год
3	Жесткость	X11	Y11	СанПиН 1.2.3685-21.	Весь год
4	Ортофосфаты	X19	Y19	СанПиН 1.2.3685-21.	Май-сентябрь

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	8	
5	БПК ₅	X17	Y17	СанПиН 1.2.3685-21.	Май-сентябрь
6	Растворенный кислород	X33	Y33	СанПиН 1.2.3685-21.	Май-сентябрь

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [129] и СанПиН 2.1.3684-21 [130] Исаковское водохранилище относится к группам водопользования:

– "для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий"

– "для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест".

Основные пользователи водных ресурсов Исаковского водохранилища должны принимать к сведению, что вода высокой минерализации, а в летнее время повышаются показатели органических загрязнений и микробиологические показатели [129].

3.2 Результаты оценки качества воды по расчетным индексам за 2014-2022 гг.

3.2.1 Качество воды по гидрохимическим показателям

При исследовании качества воды по отдельным показателям было выявлено превышение только по 6 показателям. Следовательно, для расчета можно взять индексы, учитывающие минимальное количество показателей с отклонениями.

На данном этапе исследования качества воды Исаковского водохранилища выбран индекс загрязнения воды. Для расчета ИЗВ используется минимум показателей.

По значениям ИЗВ качество воды распределяется по классам от 1 (очень чистая) до 7 (чрезвычайно грязная).

Интервалы значений ИЗВ по классам представлены в таблице 2.12.

Для выполнения исследований выбраны приоритетные показатели загрязнения воды, которыми для Исаковского водохранилища являются: сухой остаток, сульфаты,

ортофосфаты, общая жесткость. Обязательными компонентами для гидрохимического анализа является растворенный кислород и БПК₅.

Значения ПДК для всех компонентов кроме растворенного кислорода являются постоянными. Значения ПДК для растворенного кислорода варьируются в зависимости от фактического уровня содержания показателя в воде.

Для данного исследования были рассчитаны значения ИЗВ за 2014-2022 гг. по месяцам. Поэтапный расчет ИЗВ для проверки правильности за 2014 год представлен в Приложении К. Из табличных данных видно, что в период с ноября по май вода классифицируется как чистая и умеренно загрязненная, в июне-октябре от «Чистой» до «Чрезвычайно грязной». Основным показателем, влияющим на значение ИЗВ, является содержание РК. Результаты расчетов индексов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Значение рассчитанных ИЗВ за 2014-2022 гг.

Месяц	ИЗВ по годам									ИЗВ (среднее за месяц)
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
1	0,88	0,97	1,09	0,97	0,97	0,83	1,43	1,17	1,09	1,04
2	1,17	0,97	1,10	1,03	0,98	0,84	1,26	1,29	1,06	1,08
3	1,13	1,00	0,87	1,09	0,86	0,88	1,02	1,05	0,90	0,98
4	0,92	0,95	0,91	0,83	0,87	0,85	0,97	1,02	0,89	0,91
5	0,92	0,92	1,07	0,75	0,86	1,43	1,14	1,02	0,78	0,99
6	1,59	7,94	1,66	1,55	3,59	1,10	2,90	0,99	1,06	2,49
7	7,41	5,46	2,48	7,50	5,85	5,88	7,43	2,16	59,55	11,52
8	6,69	3,95	5,43	8,21	3,32	1,85	1,03	67,44	77,76	19,52
9	1,23	2,37	1,05	6,03	1,09	1,11	1,03	1,58	2,30	1,98
10	1,07	2,28	1,68	1,86	1,02	1,08	1,54	1,68	1,11	1,48
11	0,98	1,08	0,96	0,92	0,94	1,56	1,11	1,36	0,90	1,09
12	0,91	0,97	0,95	0,90	1,06	1,06	1,00	1,31	0,81	1,00

Для большей информативности рассчитаны средние значения по месяцам (среднее за 9 значений января 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.)

На рисунке 3.1 представлены ИЗВ и соответствующие категории качества воды.

Из рисунка 3.1 видно, что в летние месяцы вода Исаковского водохранилища переходит из разряда «Умеренно загрязненной» и «Загрязненной» к «Грязной» и «Очень грязной». Ежегодно на официальном сайте городской администрации санитарные органы информируют население о том, что купание в городских водоемах запрещено

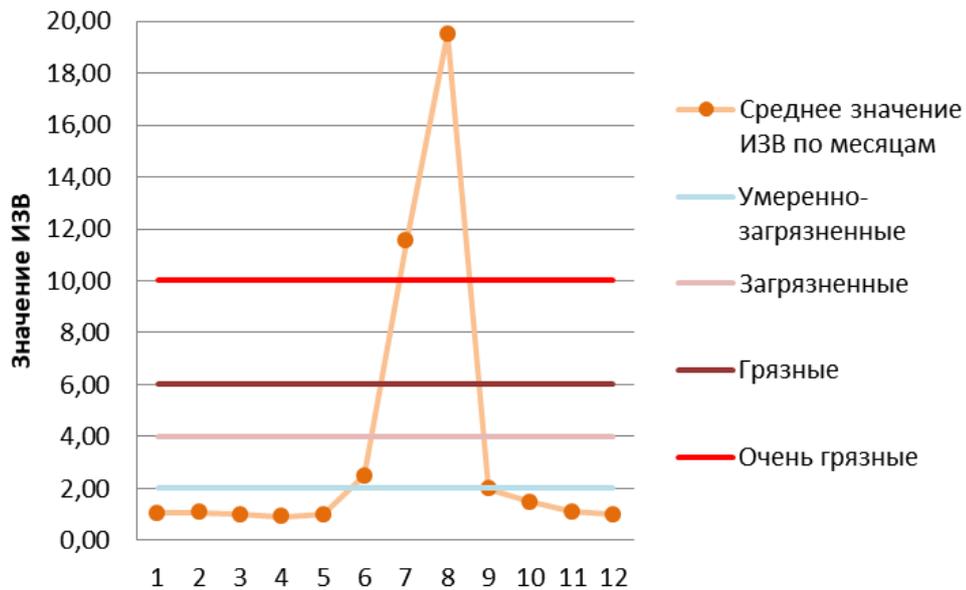


Рисунок 3.1 — Значение ИЗВ и соответствующие классы качества воды

Расчет ИЗВ подтверждает сезонность изменения качества воды, описанную по характеру изменения отдельных показателей.

Усреднение ИЗВ за год не несет информационной нагрузки и завышает значения качества воды, так как зимой все очень «хорошо», а летом «плохо» [13, 14, 17, 42, 43, 56, 126].

Для расчета УКИЗВ использовали произвольный список показателей качества воды Исаковского водохранилища.

Объем выборки составил 16 показателей: цветность, мутность, ионы магния, меди, железа, хлориды, сульфаты, сухой остаток, ионы аммония, нитриты, нитраты, содержание растворенного кислорода, БПК₅, перманганатная окисляемость, сероводород, общая жесткость. Исследуемый период охватывает 2014-2022 гг, массив содержит 108 наблюдений по каждому показателю (1 раз в месяц).

ПДК для загрязняющих веществ были выбраны согласно СанПиН 2.1.3684-21 [129] и СанПиН 1.2.3685-21 [130] для основных направлений использования воды водоема.

Расчет КИЗВ и УКИЗВ выполнен по методике РД 52.24.643-2002 [126].

Предварительная оценка степени загрязненности воды водных объектов выполнена с помощью коэффициента комплексности загрязненности воды [126]. Рассчитанный вариационный ряд значений К характеризует исследуемый период наблюдений за состоянием загрязненности воды Исаковского водохранилища в районе дамбы на глубине 7-9 м. Значения коэффициента комплексности загрязненности воды внесены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 — Коэффициент комплексности загрязнённости воды [126] по месяцам за 2014-2022 гг.

Год / Месяц отбора	Коэффициент комплексности загрязнённости воды К									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Среднее за месяц
январь	31,3	31,3	25,0	31,3	31,3	25,0	31,3	37,5	31,3	30,56
февраль	43,8	31,3	50,0	31,3	31,3	25,0	43,8	31,3	37,5	36,11
март	31,3	43,8	43,8	25,0	31,3	43,8	37,5	43,8	31,3	36,81
апрель	43,8	50,0	31,3	31,3	31,3	37,5	43,8	37,5	31,3	37,50
май	37,5	37,5	25,0	18,8	12,5	25,0	31,3	43,8	18,8	27,78
июнь	37,5	43,8	37,5	18,8	18,8	25,0	31,3	43,8	18,8	30,56
июль	56,3	50,0	50,0	25,0	37,5	37,5	43,8	50,0	31,3	42,36
август	56,3	56,3	62,5	37,5	37,5	37,5	37,5	50,0	37,5	45,83
сентябрь	43,8	37,5	43,8	31,3	25,0	37,5	43,8	31,3	43,8	37,50
октябрь	37,5	43,8	37,5	25,0	37,5	31,3	43,8	37,5	43,8	37,50
ноябрь	31,3	43,8	31,3	37,5	25,0	37,5	31,3	37,5	31,3	34,03
декабрь	31,3	31,3	31,3	31,3	43,8	31,3	37,5	31,3	37,5	34,03
Среднее за год	40,10	41,67	39,06	28,65	30,21	32,81	38,02	39,58	32,81	

Значение коэффициента комплексности загрязнённости воды варьируется от 17,65 % до 62,5 %.

Значение коэффициента повышается в марте, июле, августе систематически. Причиной данного повышения является паводковые воды в марте и снижение качества воды в теплое время года (повышение температуры воды, скорости эвтрофикации, окислительных реакций в воде, цветение водоема).

Минимальное значение среднегодовой загрязнённости отмечается в 2016-2017 году, что связано со снижением производства в регионе.

Повышение коэффициента комплексности загрязнённости в 2020-2021 году связано со снижением уровня воды в водохранилище более чем на 3 м. Поверхностный слой воды перемешивался со средним уровнем, ранее забираемым пользователями.

За 9 лет, значения по соответствующим месяцам были усреднены. Результат представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 — Среднемесячные значения коэффициента комплексности загрязнённости воды Исаковского водохранилища в месте основного забора воды ООО ЮГМК за 2014-2022 гг.

В диссертационной работе исследован большой объем данных (28 показателей качества воды) Ингредиенты, имеющие высокий уровень и экстремальный уровень загрязненности не выявлены.

Предварительная обработка данных химического состава по 16 показателям выявила загрязненность воды по нескольким показателям длительное время и по комплексу показателей в теплое время года.

Расчёт комбинаторного индекса загрязненности воды [126] представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 — Расчет КИЗ и УКИЗВ

Ингредиенты и показатели загрязненности	Число определений	Число определений, превышающих ПДК	Повторяемость превышения	Частный оценочный балл	Кратность превышения ПДК	Среднее значение кратности превышения ПДК	Доля частного оценочного балла	Обобщенный оценочный балл
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цветность	108	100	92,59	4,00	176,53	1,7	1,7	6,79
Мутность	108	27	25,00	1,25	44,89	1,21	1,21	1,52
Магний	108	73	67,59	4,00	95,52	1,12	1,12	4,49
Жесткость общая	108	106	98,15	4,00	130,11	1,19	1,19	4,77
Железо общее	108	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сухой остаток	108	102	94,44	4,00	133,16	1,24	1,24	4,98
Сульфаты	108	98	90,74	4,00	122,21	1,15	1,15	4,61
Хлориды	108	—	—	—	—	—	—	—
Медь	108	—	—	—	—	—	—	—
БПК ₅	108	51	47,22	2,36	83,98	1,61	1,61	3,81
Перманганатная окисляемость	108	39	36,11	1,81	55,91	1,12	1,118	2,019
Сероводород	108	6	5,56	0,61	101,72	16,95	3,42	2,09
Аммоний - ионы	108	2	1,85	0,20	2,76	1,38	1,38	0,28
Нитрат-ионы	108	—	—	—	—	—	—	—
Нитрит -ионы	108	—	—	—	—	—	—	—
Растворенный кислород	108	19	17,59	0,88	500,64	20,86	3,52	3,097

Комбинаторный индекс загрязненности воды (сумма обобщенных оценочных баллов по каждому показателю) составляет 38,47. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды составляет 2,40 [126].

Критические показатели загрязненности в выбранном перечне отсутствуют КПЗ=0, следовательно, коэффициент запаса $k=1$

Согласно КИЗВ = 38,5 и без учета КПЗ = 0 вода относится к 3 классу и характеризуется как «Загрязненная». По рассчитанному значению УКИЗВ = 2,40 без учета КПЗ вода относится к 3 классу разряд «а» и характеризуется как «Загрязненная» [126].

При расчете данного индекса усредняются значения показателей по сезонам и теряется динамика изменения качества воды в течение года.

3.2.2 Качество воды и состояние водоема, рассчитанное по индексу сапробности воды

Совокупность свободно плавающих в толще воды мелких водорослей называют фитопланктоном, а каждый отдельный организм из состава фитопланктона — фитопланктером. Фитопланктон формируют микроскопические водоросли. Они распределяются в толще воды. Пресноводный фитопланктон в основном представлен сине-

зелеными, зелеными, диатомовыми, золотистыми, пиррофитовыми и эвгленовыми водорослями [1].

В период от вскрытия льда до установления температурной стратификации, что обычно бывает при прогреве верхнего слоя воды до 10-12°C, начинается бурное развитие холодолюбивого комплекса диатомовых. Летом при температуре воды выше 15°C наблюдается максимум продуктивности сине-зеленых, эвгленовых и зеленых водорослей. В зависимости от трофического и лимнологического типа водоема в это время может происходить "цветение" воды, вызванное развитием сине-зеленых и зеленых водорослей.

На состав и распределение водорослей в водном ценозе оказывают влияние абиотические и биотические факторы [1, 18, 20, 120, 121, 151].

Водоросли чувствительны к дефициту биогенных элементов, к тяжелой воде, к анаэробным условиям, к изменению температурного и светового режима, к дисперсности и мутности воды, к изменению химического состава и pH воды.

Химические параметры водной среды являются одним из основных факторов, влияющих на развитие тех или иных водных организмов.

В вегетационный период большое значение имеют такие физические факторы, как свет и температура.

Различные факторы водной среды распределяются в водоеме далеко не равномерно как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении [1, 35, 151].

Учитывая то, что водохранилище несет на себе признаки как речного, так и озерного типа, флора и фауна их тоже занимает промежуточное положение. Фауна водохранилищ представлена коловратками, ветвистоусыми и веслоногими рачками, а также моллюсками. На берегу растет камыш, осока, рогоз, кувшинки и кубышки. На дне водохранилища живут хирономиды, моллюски, рачки-бокоплав. Встречаются черви.

В водохранилищах хорошо приживаются различные виды пресноводных рыб (окунь, щука, уклея, карповые виды) [4, 7, 19, 20, 29].

Для дальнейшего анализа состояния воды водохранилища подробно рассмотрим видовое разнообразие фитопланктона.

За 2014-2022 год были опознаны 42 вида фитопланктона из 7 отделов (Приложение Б).

Преобладающую роль в фитопланктоне занимают сине-зеленые, зеленые и диатомовые водоросли (рис.3.2).



Рисунок 3.3 — Состав фитопланктона по отделам [120, 121]

На рисунке 3.2 можно заметить, что далеко не все представители отрядов являются индикаторами сапробности. Так, в отряде зеленых водорослей индикаторами сапробности являются только 10 из 18 выделенных водорослей. Всего же из 42 видов (Приложение Е) только 29 являются индикаторами сапробности.

Количество фитопланктона в течение года не одинаково. Это связано с температурным режимом, количеством растворенного кислорода и питательных веществ в воде, а также с естественным жизненным циклом водорослей [20].

По формуле 2.12 рассчитаны месячные величины индекса сапробности (табл. 3.5).

Таблица 3.5 — Значения индекса сапробности по месяцам с 2014 по 2022 гг.

Месяц	Индекс сапробности	Месяц	Индекс сапробности	Месяц	Индекс сапробности
1	2	3	4	5	6
2014 год		2015		2016	
Январь	1,724	Январь	1,726	Январь	1,810
Февраль	2,475	Февраль	2,445	Февраль	2,435
Март	2,441	Март	1,742	Март	1,826
Апрель	2,020	Апрель	1,722	Апрель	1,904
Май	1,765	Май	1,835	Май	1,972
Июнь	1,853	Июнь	1,844	Июнь	1,862
Июль	1,853	Июль	1,891	Июль	1,947
Август	1,850	Август	1,842	Август	1,865
Сентябрь	1,882	Сентябрь	1,820	Сентябрь	1,643

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
Октябрь	1,787	Октябрь	1,849	Октябрь	1,770
Ноябрь	1,910	Ноябрь	1,917	Ноябрь	1,757
Декабрь	2,175	Декабрь	1,944	Декабрь	1,805
2017		2018		2019	
Январь	1,887	Январь	1,632	Январь	1,648
Февраль	1,669	Февраль	1,97	Февраль	1,95
Март	1,565	Март	1,447	Март	1,89
Апрель	1,807	Апрель	1,531	Апрель	1,79
Май	1,876	Май	1,684	Май	1,81
Июнь	1,876	Июнь	1,834	Июнь	1,86
Июль	1,946	Июль	1,939	Июль	1,95
Август	1,951	Август	1,892	Август	2,04
Сентябрь	1,903	Сентябрь	1,79	Сентябрь	2,12
Октябрь	1,934	Октябрь	1,761	Октябрь	1,85
Ноябрь	1,927	Ноябрь	1,876	Ноябрь	1,74
Декабрь	1,962	Декабрь	1,72	Декабрь	1,71
2020		2021		2022	
Январь	1,65	Январь	1,58	Январь	1,6
Февраль	2,005	Февраль	2,02	Февраль	2,04
Март	1,758	Март	1,95	Март	1,896
Апрель	1,954	Апрель	1,83	Апрель	2,147
Май	2,003	Май	1,78	Май	2,008
Июнь	2,154	Июнь	1,89	Июнь	2,1
Июль	2,56	Июль	2,03	Июль	2,17
Август	2,784	Август	2,21	Август	2,38
Сентябрь	2,652	Сентябрь	2,25	Сентябрь	2,32
Октябрь	2	Октябрь	1,84	Октябрь	2,008
Ноябрь	1,958	Ноябрь	1,74	Ноябрь	1,598
Декабрь	1,76	Декабрь	1,705	Декабрь	1,545

Значения ежемесячных индексов сапробности находятся в пределах от 1,5 до 2,5 и попадают в область β -мезосапробной зоны.

На рисунке 3.3 можно наглядно увидеть изменение индекса сапробности.

За исключением четырех наблюдений, вода Исаковского водохранилища в месте основного забора воды (глубина 7-9 м) относится к β -мезосапробной зоне.

β -мезосапробная зона — вторая по степени загрязнения зона (менее грязная чем полисапробная), характеризуется большей степенью распада органических веществ. В воде появляется небольшое количество кислорода, который обуславливает протекание окислительно-восстановительных процессов. В этой зоне появляются фотосинтезирующие

формы микроорганизмов. Сероводород и диоксид углерода присутствуют в незначительном количестве (август). Количество бактерий исчисляется сотнями тысяч в 1 см³. Широко распространены жгутиковые, грибы, инфузории. Встречаются многие виды сине-зеленых и зеленых водорослей, колловратки. В иле находятся тубифициды. Характеризуется наличием продуктов минерализации органических соединений — аммонийных солей, нитратов, нитритов. В воде имеется достаточное количество растворенного кислорода, характер протекающих процессов — окислительный. Количество бактерий исчисляется десятками тысяч в 1 мл.

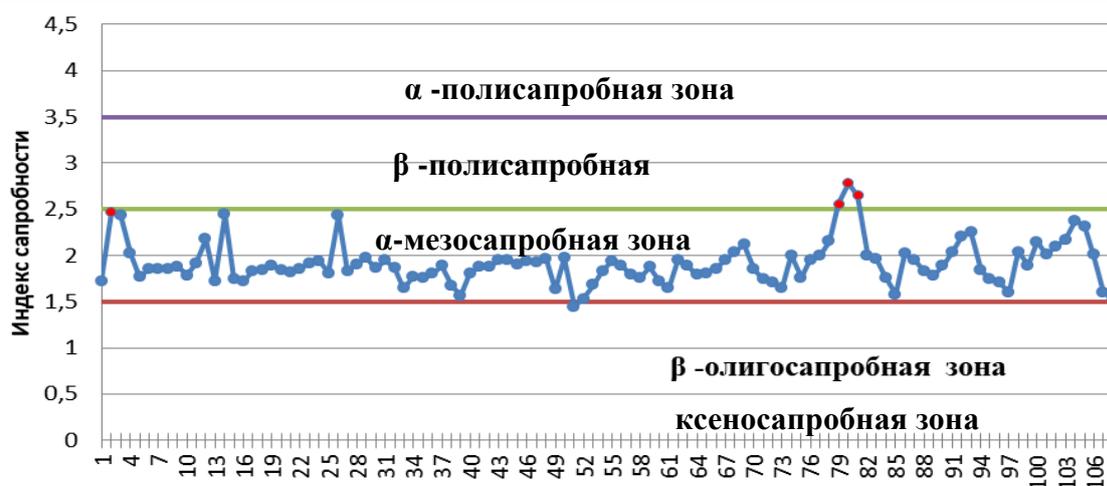


Рисунок 3.4 —Динамика изменения индекса сапробности за 2014-2022 годы [20, 121]

Показательным для зоны является преобладание зеленых, диатомовых, сине-зеленых водорослей. Эта зона соответствует качеству воды прудов, водохранилищ со стабильным санитарным режимом рек [13, 120, 121]

3.3 Оценка качества и пригодности воды по направлениям использования

3.3.1 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как сырья для производства питьевой воды

Во 2 разделе перечислены нормативные документы, содержащие требования к поверхностным водоемам как источникам для производства питьевой воды. Согласно ДСТУ

4808-2007 классификация качества поверхностных вод как источников водоснабжения по гигиеническим и экологическим критериям охватывает до 82 показателей и состоит из 7 отдельных групп.

В данной работе исследовано 38 показателей из 6 отдельных групп (таблица 3.6).

Диапазон величин показателей (критериев) качества воды поделен на 4 класса:

1 класс – вода отличная, желаемое качество воды;

2 класс – хорошая, приемлемое качество воды;

3 класс – удовлетворительная, приемлемое качество воды;

4 класс – посредственная, ограниченно пригодная, нежелательное качество воды [55].

Таблица 3.6 – Группировка критериев качества воды [55]

№ группы	Название группы показателей	Количество исследованных показателей в группе
1	Органолептические показатели	3
2	Общесанитарные показатели химического состава воды	15
3	Гидробиологические показатели	2
4	Микробиологические показатели	6
5	Паразитологические показатели	2
6	Показателей радиационной безопасности	-
7	Приоритетные токсикологические показатели химического состава воды	10

Для центрального питьевого водоснабжения используют в первую очередь поверхностные и подземные источники с качеством воды 1-3 классов, оценка которых получена по гигиеническим и экологическим критериям.

Оценивание качества воды в поверхностных источниках по групповым индексам выполнялось в три этапа:

1. Этап группирования и обработки исходных данных гигиенических и экологических показателей качества воды [55].

Исходные данные относительно качества воды по отдельным показателям объединяются в соответствующие группы. Исходные выборки относительно каждого показателя подвергаются определенной обработке: вычисляются максимальные и средние значения по годам (2011-2021 гг.). Они характеризуют границы диапазонов изменчивости значений каждого показателя качества воды в реальных условиях выполнения и анализа результатов наблюдений.

2. Этап определения классов качества воды по отдельным показателям [55].

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интегральный	2,15	2,16	2,33	2,15	2,22	2,16	2,03	2,38	2,14

Значение блоковых индексов качества воды могут быть как целыми, так и дробными, что позволяет выделить как класс качества воды, так и подклассы согласно схеме, приведенной в данной методике (ГСТУ 4808- 2007).

Несмотря на то, что по интегральному критерию вода в водохранилище близка и идеалу, на графиках отчетливо видно, что по общесанитарным и микробиологическим показателям вода относится к третьему классу качества. Причиной этому являются повышенное содержание в воде фосфатов, сульфатов группы азота и высокое солесодержание (сухой остаток), завышенные показатели микробиологии являются следствием постоянного сброса сточных, а также канализационных вод в водохранилище и источники его питания, в реку Белую.

Таблица 3.8 — Средние значения индексов групп

Наименование группы показателей	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1. Органолептические показатели	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2. Общесанитарные показатели химического состава	2,9	3	2,9	2,8	2,9	2,7	2,8	2,7	2,8
3. Гидробиологические показатели	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2
4. Микробиологические показатели	3	2,2	1,4	2,4	2,4	2,6	3	2	2
7. Токсикологические показатели химического состава воды (неорганич.)	1,4	1,1	1,1	1,0	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3
8. Токсикологические показатели химического состава воды(органич.)	1,3	1	1	1	1,3	2	2,3	1	1,7
Интегральный показатель	1,9	1,7	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	1,7	1,8
Класс качества воды	2	3	2	2	2	2	2	2	2

Исаковское водохранилище уверенно можно отнести ко 2(1) второму классу 1 подкласса качества воды как источника питьевого водоснабжения.

Вода характеризуется как «хорошая» чистая вода с уклоном в сторону «отличной» очень чистой.

Изменение блоковых индексов показаны на схемах рисунков 3.5 и 3.6.

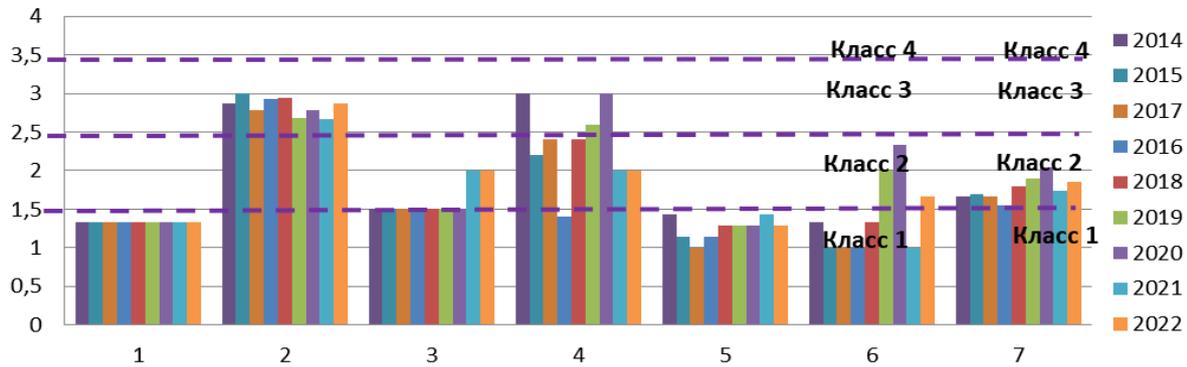


Рисунок 3.5 — Средние значения блоковых критериев за 2014-2022 годы

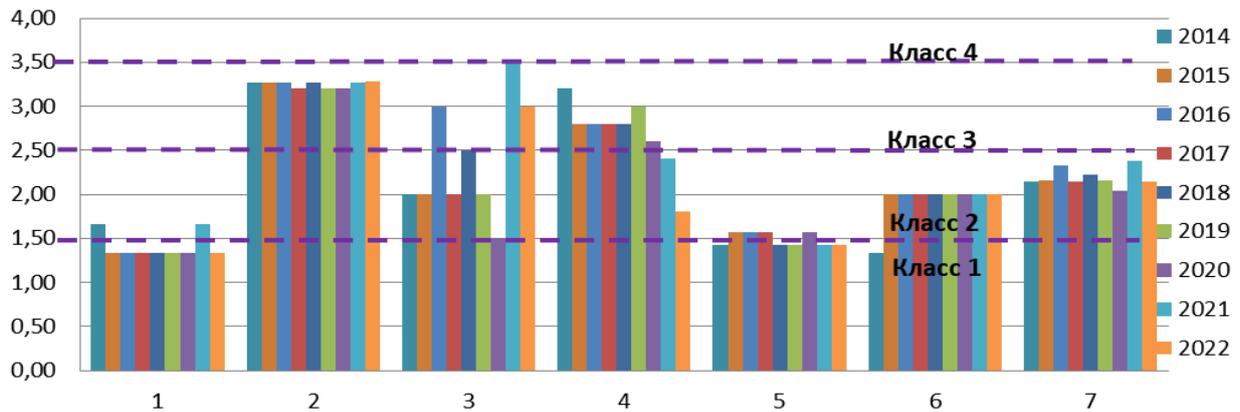


Рисунок 3.6 — Наихудшие значения блоковых критериев за 2014-2022 годы

1-органолептические, 2-общесанитарные, 3-гидробиологические, 4-микробиологические, 5-токсикологические (неорганические) 6-токсикологические (органические) показатели, 7-интегральный показатель

Согласно рекомендациям ГСТУ 4808-2007 для использования воды водохранилища необходимы технологии для очистки воды, обладающие обеззараживающими свойствами и способные существенно снизить солесодержание воды. Примером таких технологий является цех водоподготовки ООО «ЮГМК», который уже более 10 лет использует воду Исаковского водохранилища для производства питьевой воды [12]. Детальное исследование технологии очистки воды в цехе водоподготовки описано в разделе 5.

3.3.2 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для предприятий металлургического производства и коммунальных служб

В промышленном регионе, где остро ощущается дефицит природной «чистой» воды, целесообразно для технических нужд использовать воду поверхностных водоемов.

Агрегаты, которые используются в котельных города Алчевск, следующих марок: ПТВМ -100, КВГМ -100, ДКВР 6,5/13. Для систем отопления исходная вода для водоподготовки и заполнения системы с подобными котлами должна соответствовать требованиям, приведенным в таблице 3.9.

В металлургии воду осуществляется водоподготовка для конкретных цехов и определенных назначений.

Результаты исследований качества воды возможных источников для питания тепловых сетей свидетельствуют о необходимости предварительной водоподготовки.

Таблица 3.9 — Сравнительная характеристика качества воды для тепловых сетей коммунальных предприятий и металлургического производства (январь 2022 г)

Показатель	Норма	Вода Исаковского водохранилища	Вода Верхне-Орловского водохранилища	ГУП ЛНР «Луганск вода»
рН, ед.рН	6,5-8,5	8,29	8,24	8,02
Взвешенные вещества, мг/дм ³	0	0-12	50	0
Общая жесткость, град.жесткости	9	7,8-9,5	14	10-13
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	1244	1893	1255
Сульфаты, мг/дм ³	500	360-645	750	465-600

Чем меньше отклонения от нормы, тем меньше будет затрачиваться реагентов для их устранения. Исходя из этого существенной разницы между водой ГУП ЛНР «Луганск вода» и из Исаковского водохранилища. Что касается финансовых затрат, можно предположить, что затраты по транспортировке технической воды, забор воды из источника и стоимость воды (если она насчитывается) ниже для поверхностного источника, чем подземного [10,17,21,22].

3.3.3 Оценка качества воды Исаковского водохранилища как технической воды для сельского хозяйства и рекреации

Вода Исаковского водохранилища используется для орошения огородов, санитарно-бытовых нужд на дачных участках. В водоеме местные жители и отдыхающие ловят рыбу. В таблице 3.8 представлены требования к воде и водоемам, которые используются в качестве источников технической воды для орошения, мест для занятий спортом, ловли рыбы и при контакте с кожей [21].

Таблица 3.10 — Требования к качеству воды используемой человеком (поверхностные воды)

Показатель	Нормативные значения показателей, согласно направлений использования			Источник воды	
	Рыбо-хозяйственное	Спорт и купание	Орошение	Исаковское водохранилище	Верхне-Орловское водохранилище
	ПРИКАЗ N 552	СанПиН 1.2.3685-21	СанПиН 2.1.7.573-96		
1	2	3	4	5	6
Обобщенные колиформы, КОЕ/100см ³	500	500	500	Более 1000	Более 1000
Колифаги, БОЕ/дм ³	100	100	100	0	0-100
Запах, балл	2	2	2	2-4	3-4
рН, ед.рН	6,5-8,5			6,5-8,2	8,2-8,9
Растворенный кислород, мг/дм ³	4	4	4	0-12	0-9
БПК ₅ , мг/дм ³	2	2	2	1-4	3-7
Сухой остаток, мг/дм ³	1000		4000	970-1200	1500-1800
Сульфаты, мг/дм ³	250	250	500	370-600	500-900

Токсикологические показатели качества воды не должны превышать ПДК, содержащиеся в СанПиН 1.2.3685-21 [129].

Существенные отклонения от норм в воде Исаковского водохранилища наблюдаются по микробиологическим показателям. Причиной этого являются высокая температура

воздуха в летний период, обильное количество органических веществ в воде и сбросы неочищенных сточных вод.

Использование подземных, поверхностных и сточных вод для орошения разрешается при условии соблюдения ПДК компонентов состава воды. Содержание в воде для полива органических и минеральных соединений альдегидов, спиртов и солей тяжелых металлов отрицательно влияет на развитие растений и качество сельскохозяйственной продукции.

Концентрация солей в воде, катионов и анионов, общее количество токсических веществ и реакция среды должны быть в допустимых пределах для каждого конкретного случая, вида культуры, почвенных, климатических и других условий.

После контакта кожи с водой следует искупаться в чистой воде, лучше с моющими средствами. Овощи после орошения следует тщательно мыть.

3.3.4 Результаты оценки водоемов как объектов рекреации по разработанной методике на примере сравнения водоемов Перевальского района и г. Алчевска. Рекреационный потенциал водоемов Перевальского района

Водные объекты имеют первостепенное значение в организации полноценного отдыха, поскольку у населения наиболее популярны рекреации, связанные с плаванием [141]. Кроме того, возможность заниматься разнообразными видами спорта, микроклиматический комфорт, эстетическое воздействие береговых живописных ландшафтов, смена впечатлений — всё перечисленное, оказывая воздействие в комплексе, можно назвать естественными лечебными мероприятиями, которые осуществляются непосредственно благодаря водоёмам.

Вследствие активной хозяйственной деятельности человека и в меньшей степени естественных причин состав поверхностных вод зачастую не стабилен, а качество воды в водоёмах ЛНР становится неудовлетворительным, что отражается на здоровье населения. Особенно опасно попадание в водные объекты патогенных микробов, которые вызывают эпидемии кишечных инфекций [8]. Вместе с тем, преобладающее большинство рекреационных зон на водоёмах не подготовлены к купальному сезону и не соответствуют нормативным требованиям санитарного законодательства [119,120].

На берегах водоёмов в теплый период времени всегда можно встретить отдыхающих, которые купаются, участвуют в спортивных играх, находятся в активном состоянии, наслаждаются красотами природы, отдыхают с удочкой или просто дремлют у водоёма [19]. Это притом, что места для отдыха, а тем более для купания, весьма неподходящие.

Для исследования водных объектов как мест для отдыха разработана методика, включающая в себя как показатели качества воды, так и субъективные вопросы, влияющие на выбор места для отдыха [141].

Для проверки адекватности разработанной методики оценки водоема как места для отдыха были исследованы несколько водоемов, расположенных как в черте города, так и далеко за его пределами [141].

Исследования проводились в разгар летнего отдыха (время максимальной нагрузки на водоёмы) на водных объектах Перевальского района (пруд «20», пруд «Долгий», пруд в пгт Ящиково, пруд в селе Новосёловка, Исаковское водохранилище) и г. Алчевска (Ящиковский пруд, водохранилища Верхне-Орловское и Нижне-Орловское) [141].

Первый оценочный блок Оценка качества воды (W) формировался на основании результатов исследования проб воды водоемов, отобранных автором в соответствии с ГОСТ 31942-2012 (Рисунок 3.7) [141].

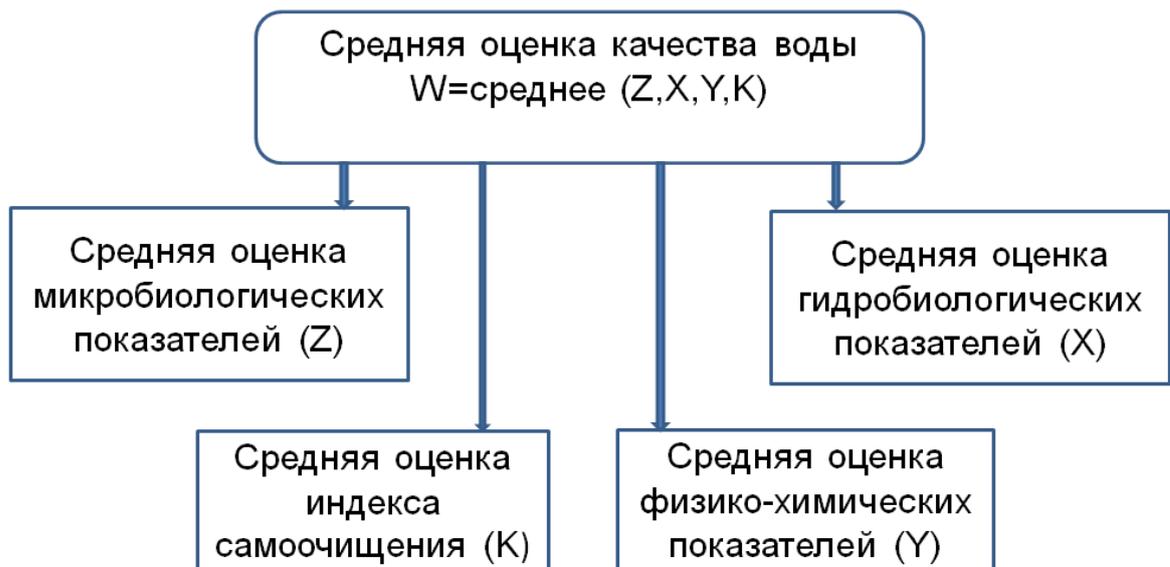


Рисунок 3.7 — Оценка качества воды

Исследования отобранных проб проводились в аттестованной лаборатории по следующим направлениям: органолептические и физико-химические показатели (запах, цветность, рН, мутность, общая минерализация), микробиологические показатели (общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, общее число микроорганизмов и колифаги) и гидробиологические (фитопланктон). По результатам последних двух групп показателей рассчитаны индексы сапробности и самоочищения. Баллы, набранные каждым водным объектом суммировались, и вычислялось среднее значение [141].

Для наглядности составлена таблица 3.11 распределения классов качества воды по загрязнённости, что применяется для оценки качества воды в реках и водоёмах. Согласно представленной ниже классификации уровней загрязнения, большей степени загрязнённости воды комплексом загрязняющих веществ соответствует больший номер класса [141].

Таблица 3.11 – Классификация уровней загрязнения [19]

Класс качества воды	Интервал	Оценка качества воды по показателю W
1	2	3
I	1,00 –1,99	Хорошее, приемлемое качество
II	2,00 –2,99	Удовлетворительное, приемлемое качество
III	3,00 –3,99	Посредственное, нежелательное качество
IV	4,00 –5,00	Очень плохое качество

Полученные результаты органолептических, физико-химических, микробиологических и гидробиологических исследований систематизированы, сведены в одну таблицу 3.12 и оформлены соответствующим цветом.

Таблица 3.12 – Интегральная оценка качества воды [141]

	Z	Y	K	X	W
Пруд Ящиковский	3,25	2,33	3	3	2,90
Верхне-Орловское водохранилище	4,75	3,33	5	3	4,02
Нижне-Орловское водохранилище	4	2,67	4	2	3,17
Исаковское водохранилище	4,5	3	5	3	3,88
Пруд «20»	4,5	3	4	3	3,63
Пруд «Долгий»	2,5	1,33	2	2	1,96
Пруд пгт Ящиково	4,25	3,33	2	3	3,15
Пруд «Новоселовка»	1,5	1	1	2	1,38

Исследуя качество воды восьми водоемов, следует отметить, что самая чистая вода в прудах «Новоселовка» и «Долгий», самая грязная вода в Верхне-Орловском водохранилище.

Снижение класса качества воды водоемов связано с высоким микробиологическим загрязнением водоемов. Развитие микроорганизмов провоцируется ростом температуры воды на фоне высокого содержания органических загрязнений.

При выборе водоема пользователя далеко не в первую очередь интересует качество воды.

Второй блок Оценка удобства и безопасности отдыха (U) формировался на основании опроса группы любителей отдыха у воды, которые оценивали такие параметры, как транспортная развязка, обустройство пляжей, доступность комфортного отдыха, безопасность пляжа, дна мелководья, наличие ям, скорость течения и др. (рисунок 3.7).

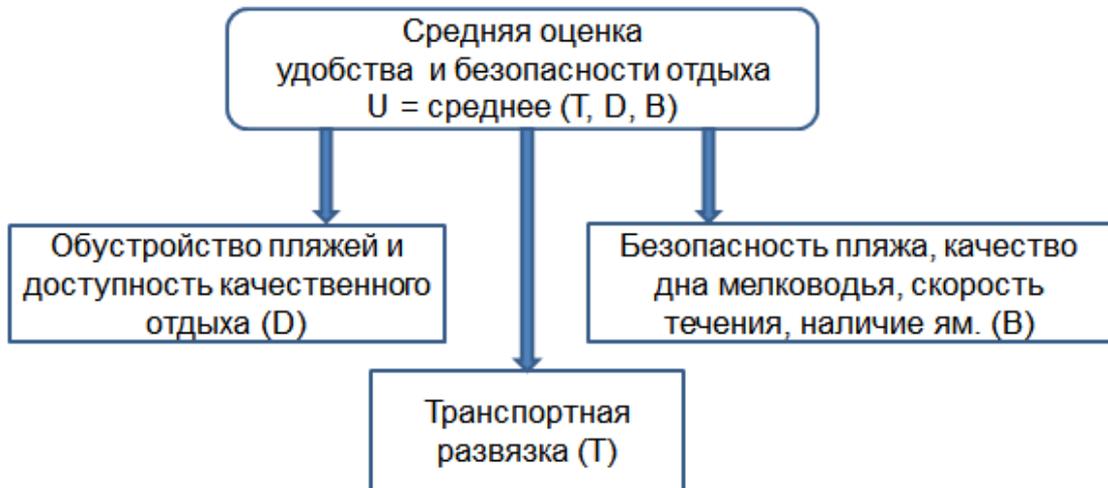


Рисунок 3.8 – Оценка удобства и безопасности [141]

Для формирования субъективного мнения общественности была опрошена экспертная группа. Анкетирование проводилось по берегам водоемов, возраст опрашиваемых от 10 до 75 лет. Вопросы, задаваемые отдыхающим, содержатся в Приложении Ж.

С их помощью оценены 8 водоемов, выбранных для исследования.

Участники опроса имели разный финансовый уровень обеспеченности, семейное положение (молодые без детей, семейные с детьми, возрастные).

Результаты оценивания по группам показателей представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 — Обобщенная оценка удобности и безопасности водоема [19]

Водоемы	Т	D	В	U
1	2	3	4	5
Пруд Ящиковский	2,50	3,50	4,20	3,40
Верхне-Орловское водохранилище	2,50	3,70	4,50	3,57
Нижне-Орловское водохранилище	2,50	4,30	3,60	3,47

Продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5
Исаковское водохранилище	1,60	2,20	2,50	2,10
Пруд «20»	2,80	3,80	3,60	3,40
Пруд «Долгий»	3,40	3,80	4,50	3,90
Пруд пгт Ящиково	3,30	4,30	3,70	3,77
Пруд «Новоселовка»	4,90	4,00	4,20	4,37

Как оказалось, при выборе удобного и безопасного водоема человек субъективно выбирает те места, куда ему легче всего добраться. Немаловажную роль играет комфортное пребывание на пляже, доступность всех благ цивилизации. Родители, отдыхающие на берегу с детьми, отдают предпочтение возможностям детского развлечения, безопасному мелководью.

Для сравнения показателей групп «Качество воды» и «Удобство и безопасность отдыха» интегрированные оценки внесены в таблицу 3.14. Кроме этого рассчитан рекреационный потенциал для каждого водоема.

Таблица 3.14 — Результаты оценивания водоемов по двум направлениям [19]

Водоемы	Качество воды (W)	Удобство и безопасность отдыха (U)	Рекреационный потенциал водоема (% населения региона)
Пруд Ящиковский	2,90	3,40	3,5
Верхне-Орловское водохранилище	4,02	3,57	4,4
Нижне-Орловское водохранилище	3,17	3,47	4,0
Исаковское водохранилище	3,88	2,10	14,7
Пруд «20»	3,63	3,40	0,6
Пруд «Долгий»	1,96	3,90	0,2
Пруд пгт Ящиково	3,15	3,77	0,4
Пруд «Новоселовка»	1,38	4,37	1,0

Для интерпретации комплексной оценки водоемов рекреационного назначения введена матрица оценок с унифицированной шкалой градаций.

Переход от показателей W и U к унифицированным значениям WW и UU выполняется по формулам:

$$WW = \frac{5 - W}{4} \quad (3.2)$$

$$UU = \frac{5 - U}{4}. \quad (3.3)$$

Шкала интерпретации результатов оценки по унифицированным показателям представлена в таблице 3.15.

Таблица 3.15 — Шкала интерпретации результатов комплексной оценки водоемов рекреационного назначения [19]

Значения унифицированного показателя	0 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 0,75	0,75 – 1
Интерпретация качества вод по показателю ZZ	неудовлетворительное	ниже среднего	хорошее	отличное
Интерпретация удобства и безопасности отдыха по показателю UU	неудовлетворительное	ниже среднего	хорошее	отличное
R (% населения региона)	[0 – 1)	[1 – 5)	[5 – 10)	< 10
Уровень потенциала	низкий	заметный	существенный	высокий

На рисунке 3.9 показаны полученные результаты исследований выбранных водоемов рекреационного назначения.

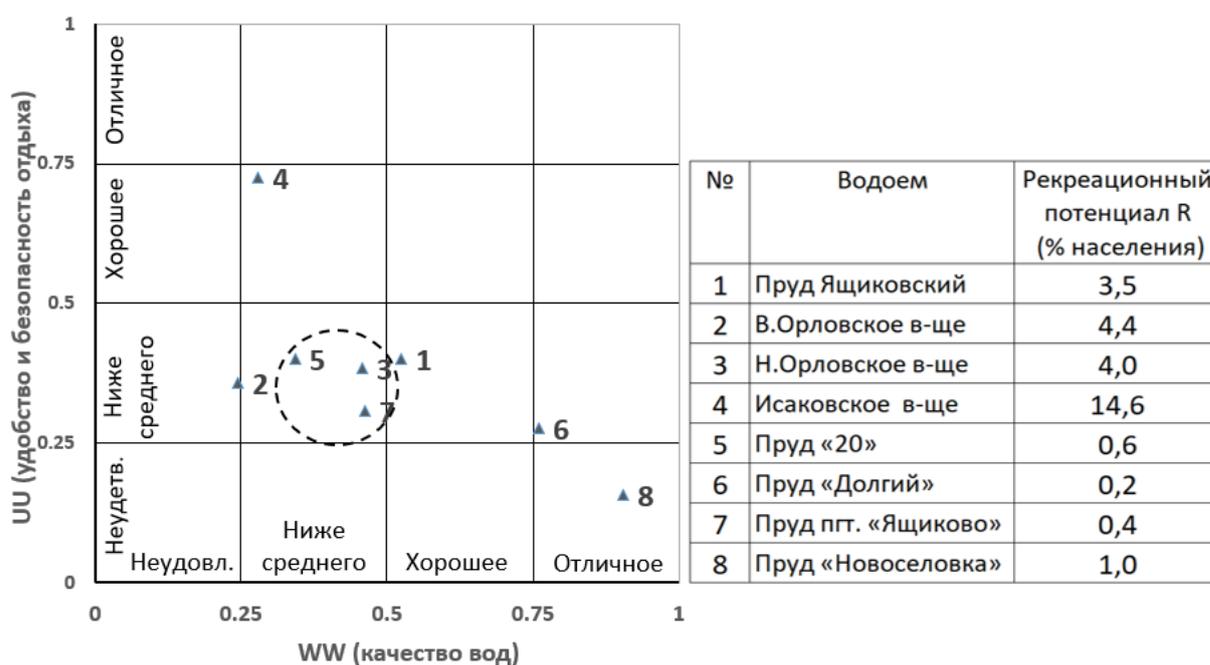


Рисунок 3.9 — Матрица комплексной оценки водоемов рекреационного назначения

Продолжение таблицы 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
<i>Средний отбор воды, тыс. м³/сутки, по годам:</i>					<i>Интенсивность использования:</i>			
2018	34,9	0,5	1,2	1,3		используется в течение месяца		
2019	37,3	0,5	0,4	2,0		используется при определенных условиях		
2020	22,1	1,4	1,6	2,0		используется при определенных условиях		
2021	3,7	1,5	0,8	7,7		не используется		

Детали оценивания представлены на рисунке 3.10.

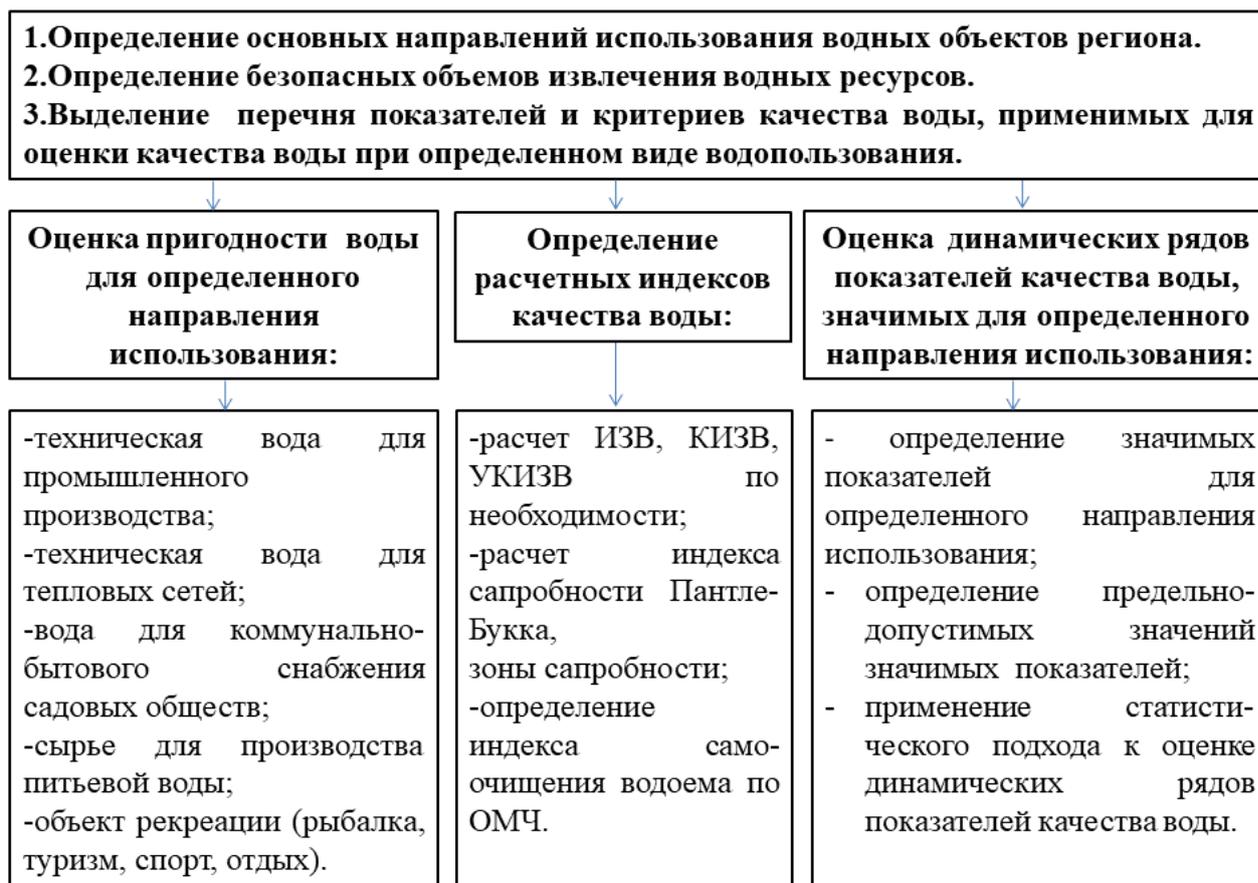


Рисунок 3.10 — Схема геоэкологической оценки Исаковского водохранилища с учетом многоцелевого использования [13]

В таблице 3.15 внесены данные по интенсивности и сезонности использования водоема.

Расчитанные индексы качества воды могут применяться при таких направлениях использования водоемов, как рекреационное, коммунальное бытовое, водоснабжение садовых обществ, а также для основных потребителей водных ресурсов для определения мероприятий, необходимых для водоподготовки.

На основе значений показателей качества воды для различных периодов года, определены значения расчетных индексов (таблица 3.16).

Таблица 3.16 — Характеристика качества воды в Исаковском водохранилище по расчетным индексам

Группа показателей	Гидрохимические				Сапробиологические	Микробиологические
	ИЗВ	Коэффициент комплексности загрязненности	КИЗВ	УКИЗВ		
Расчетные индексы					Индекс сапробности	Индекс самоочищения по ОМЧ
<i>Класс качества воды</i>						
- в теплое время	3-7	(40-100] %	3	3а	3	3-5
- в холодное время	1-2	(10-40] %	3	3а	3	1-2
<i>Класс загрязнения воды</i>		Превышения по комплексу показателей	Загрязненная	Загрязненная	Умеренно-загрязненная	Умеренно-загрязненная - грязная
- в теплое время	Загрязненная – чрезвычайно грязная					
- в холодное время	Очень чистая - чистая	Превышения по нескольким показателям	Загрязненная	Загрязненная	Умеренно-загрязненная	Очень чистая - чистая

Результат комплексной геоэкологической оценки Исаковского водохранилища, полученной на основе разработанной системы оценки водоемов с учетом многоцелевого использования водных объектов, представлен в краткой форме в таблице 3.17.

Комплексный характер оценки дает возможность рассмотреть водоем как со стороны природных условий и антропогенного влияния на него, так и с точки зрения привлекательности и доступности использования водных ресурсов в разных направлениях народного хозяйства.

Таблица 3.17 — Геоэкологическая оценка Исаковского водохранилища как водоема многоцелевого использования

Наименование водного объекта	Исаковское водохранилище				
Основные направления использования	Сырье для производства питьевой воды	Техническая вода для ООО «ЮГМК»	Техническая вода для тепловых сетей	Вода для коммунально-бытового снабжения садовых обществ	Объект рекреации (туризм, купание, спорт, рыбалка)
1	2	3	4	5	6
Безопасные объемы извлечения водных ресурсов	Полезный объем водохранилища составляет от 19700 тыс. м³ (заполнение 100%). Рациональное использование водохранилища предполагает баланс между притоком и забором воды. Приток составляет от 40 до 100 тыс. м³ в сутки. Забор не больше притока.				
Нормативный документ, регламентирующий требования	ГСТУ 4808-2007, СанПиН 1.2.3685-21	Требования к воде для конкретных цехов	Требования к тепловым агрегатам	СанПиН 1.2.3685-21, СанПиН 2.1.7.573-96	СанПиН 1.2.3685-21
Перечень показателей качества воды, необходимых для оценки качества воды	Органолептические, общесанитарные, гидробиологические, микробиологические, токсикологические	Взвешенные вещества, общая жесткость, сухой остаток, сульфаты, рН	Взвешенные вещества, общая жесткость, сухой остаток, сульфаты, растворенный кислород (РК), рН	Обобщенные колиформы, колифаги, запах, рН, растворенный кислород, БПК ₅ , сухой остаток, общая жесткость, сульфаты.	Обобщенные колиформы, рН, колифаги, запах, БПК ₅ , сульфаты, сухой остаток, общая жесткость, растворенный кислород
Расчетные индексы применимые к конкретному виду пользования	ИЗВ; УКИЗВ; КИЗВ индекс самоочищения по ОМЧ; коэффициент комплексности загрязненности;	ИЗВ; КИЗВ, УКИЗВ	ИЗВ; КИЗВ, УКИЗВ	ИЗВ; индекс самоочищения по ОМЧ; КИЗВ; УКИЗВ	ИЗВ; индекс самоочищения по ОМЧ, КИЗВ,
Выявленные отклонения за период:					
Круглый год	Сухой остаток, сульфаты, общая жесткость				
Теплое время	Микробиологические показатели, РК, БПК ₅ , ортофосфаты, цветность, сероводород, запах	Фитопланктон, взвешенные вещества	Фитопланктон, взвешенные вещества	РК, БПК ₅ , запах, микробиологические показатели	РК, БПК ₅ , запах, микробиологические показатели
Холодное время	Цветность, мутность		РК		

Продолжение таблицы 3.17

1	2	3	4	5	6
Состояние территории особенности эксплуатации	Техническое состояние плотины удовлетворительное, пригодное к эксплуатации, но требующее ремонта подпорной стенки. Забор воды производится с трёх горизонтов: верхний горизонт – 103,00 м; средний горизонт – 97,00 м; донный горизонт – 91,32 м. Требуется проведение работ по очистке дна от иловых масс.			Частично подача воды от ООО «ЮГМК»; остальная – от локальных насосов	Места для отдыха имеются, но часть из них недостаточно подготовлены для использования населением
Экспертная оценка степени соответствия требованиям (0–100) %	75 %	70 %	70 %	50 %	50 %
Экспертная характеристика водоема в соответствии с оценкой	$\frac{3}{4}$ года вода имеет второй класс качества. Требуется минимальное обеззараживание и снижение минерализации; $\frac{1}{4}$ года вода имеет 3-4 класс качества и требует особой очистки	Выгодное соотношение качества ресурса и стоимости сравнению с водопроводной водой	Выгодное соотношение качества ресурса и стоимости по сравнению с водопроводной водой	Вода подходит для полива. Для бытовых нужд есть ограничения ввиду микробиологического загрязнения и недопустимых значений органолептических показателей	Большинство мест отдыха нуждаются в реконструкции, дно заилено, отсутствуют многие удобства

Информация, структурированная в таблице 3.17, вместе с данными таблиц 3.15 и 3.16, может быть взята за основу при создании «геоэкологического паспорта» водоема многоцелевого использования, который позволил бы принимать обоснованные рациональные управленческие решения с учетом всех направлений водопотребления и водопользования водного объекта.

Выводы по главе 3

Система комплексной геоэкологической оценки водоемов многоцелевого использования содержит основные сведения необходимые действующим и потенциальным пользователям водных ресурсов. В данной главе выполнено исследование Исаковское водохранилище как водоема многоцелевого использования.

Исаковское водохранилище водоем стратегического значения не только для Перевальского района, но и для ЛНР в целом. Водоем используется в качестве источника для производства питьевой воды, источника технической воды для коммунальных служб, металлургического производства и коммунально-бытовых нужд садовых обществ, в том числе, для орошения, но с учетом особенностей состава воды и сезонности его изменения.

Соблюдение санитарно-защитных зон для источника питьевого водоснабжения усложняется сформированной по берегам жилой зоной и зонами отдыха населения (дачи, базы отдыха и пляжи).

СанПиН 1.2.3685-21 регламентирует требования к водоемам как факторов среды обитания человеком. Для технического водоснабжения вода должна соответствовать требованиям агрегатов и технологическим требованиям производства.

Безопасных объёмов извлечения водных ресурсов Исаковского водохранилища не должен превышать естественный приток с реки Белой. Направление использования воды в течение года меняется, но практически в одном объеме. Обслуживание гидротехнических сооружений Исаковского водохранилища, водозабор налажен таким образом, чтобы уровень воды в водоемы оставался постоянным. В период паводков излишки воды сбрасываются в реку Белую по переливу. Забор воды в исследуемый период колебался от 3,9-218,4 м³/сутки, приток соответственно 0-327,1 м³/сутки соответственно. В период засухи ограничивается забор воды на технические нужды ООО «ЮГМК» остальные пользователи не испытывают дефицита воды.

Оценка водных ресурсов выполнялась по трем подходам:

По отдельным показателям: из 28 показателей базы данных показателей качества воды по 6 показателям отмечены превышения ПДК, которые необходимо учитывать при использовании воды Исаковского водохранилища. Как в промышленных целях, так и для личных нужд и увлечений населения. Дополнительно пользователям необходимо контролировать содержание микроэлементов, тяжелых металлов и нефтепродуктов в связи с питанием реки шахтными водами.

В течение года превышения отмечаются по сульфатам, сухому остатку, общей жесткости. В теплое время года к перечисленным показателям добавляются обобщенные колиформные бактерии, БПК₅ и содержания растворенного кислорода. В придонном слое воды фиксируются следы сероводорода.

Найденные расчетные индексы ИЗВ, индекс сапробности и индекс самоочищения показывают одинаковую качественную характеристику воды, с незначительным запозданием по микробиологическим показателям. Данная динамика связана с длительностью развития

живых индикаторов, по сравнению с фактическим наличием в воде химических загрязняющих веществ.

Расчитанные индексы КИЗВ и УКИЗВ относят воду Исаковского водохранилища к 3 классу и характеризуют ее как загрязненную. Коэффициент комплексности загрязненности в летний период подтверждает превышения по комплексу показателей, в холодное время по нескольким показателям, что подтверждается регулярными исследованиями производственной лабораторией ООО «ЮГМК».

Оценки качества водных ресурсов полученные с помощью расчетных индексов могут применяться при таких направлениях использования водоемов, как рекреационное, коммунальное бытовое, водоснабжение садовых обществ, а также для основных потребителей водных ресурсов для определения мероприятий, необходимых для водоподготовки.

Исаковское водохранилище по направлениям фактического использования имеет отклонения по солевому составу, как и все водные ресурсы Донбасса, в летний период требует особого внимания всех водопользователей.

Согласно разработанной методики оценки водоемов как объектов рекреации (на основе множества показателей качества воды и экспертных оценок рекреационных зон) Исаковское водохранилище водоем, который оборудован местами отдыха разного состояния, но с качеством воды ниже среднего. Рекреационный потенциал водохранилища 14,6 % населения.

На основе комплексной геоэкологической оценки был составлен «формуляр» имеющий множество информации относительно существующих направлений фактического использования. Искусственные водоемы многоцелевого использования должны своевременно обслуживаться, постоянно контролироваться на предмет поступления сточных вод и регулирования процесса самоочищения за счет извлечения донных отложений, расчистки родников.

ГЛАВА 4. НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ 2 – КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ И РЕГРЕССИОННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЕМОВ. РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Моделирование и прогнозирование динамики изменения показателей качества воды водоемов ЛНР выполнено на базе данных исследования воды Исаковского водохранилища. Были сформированы два массива данных:

- массив А — в разрезе суточных изменений показателей в период 2014–2020 гг.;
- массив Б — в разрезе месячных изменений показателей в период 2014–2022 гг.

4.1 Корреляционные связи между показателями качества воды Исаковского водохранилища

4.1.1 Корреляционные связи между показателями суточных изменений качества воды

Исследования проводились ежедневно в период 2014–2020 гг. по 11 показателям, основные статистики которых приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные статистические характеристики показателей массива А

Показатель	Обозначение	Объем выборки	Среднее	Минимум	Максимум	СКО
Температура воды, °С	z3	2549	10,98	0,4	26,7	7,02
Цветность, град цветн.	z5	2548	49	14,6	162,8	16,55
Мутность, мг/дм ³	z6	2549	2,11	0,56	8,31	0,93
рН, ед.рН	z7	2549	8,08	7,4	8,8	0,23
Щелочность, ммоль/дм ³	z8	2549	5,52	4,1	6,9	0,48
Жесткость общая, град. жесткости	z11	2548	8,18	6	9,9	0,58
Fe ²⁺ , мг/дм ³	z12	2518	0,05	0	3,06	0,07
СГ, мг/дм ³	z15	2549	79,6	53,8	171,7	12,6
Ионы Си, мг/дм ³	z16	2549	0,018	0	0,14	0,01
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	z21	2549	0,21	0,02	1,26	0,15
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	z23	2556	0,04	0	0,63	0,07

Для выявления взаимозависимости контролируемых показателей оценивали коэффициенты парной корреляции r_{ij} , значимость которых определялась с помощью критерия Стьюдента.

Для получения круглогодичной гидрохимической динамики оценивали значения r_{ij} , за каждый месяц. Оказалось, что этот коэффициент очень редко достигает значений +1 или -1, означающих максимальную симбатность или антибатность контролируемых показателей. Однако, во многих случаях была отмечена существенная взаимосвязь концентраций, косвенно указывающая на совместную их зависимость от влияющих факторов.

Для перехода к более строгому анализу взаимосвязей отдельных загрязняющих воду веществ потребовалось учесть, что исследуемые временные ряды нестационарны, поскольку здесь каждый результат измерений привязан к конкретному моменту времени, так что характеристики ряда, в отличие от обычного (пространственного) набора данных, зависят от порядка наблюдений.

После сглаживания рядов данных абсолютные значения коэффициентов регрессии в большинстве случаев заметно увеличивались, как это видно из таблицы 4.2. В 2019-2020 гг. до 25-35% парных связей между концентрациями показателей качества достигала 0,9, до 55% – 0,7 и приблизительно для 10% веществ она снижалась до уровня 0,2 и меньше: в парах медь-нитрит, медь-аммоний весной и осенью; в парах медь-хлор и медь-железо летом; в парах хлор-аммоний и хлор-нитрит летом и осенью.

Таблица 4.2 – Коэффициенты корреляции между веществами (левые столбцы под каждым веществом по исходным данным и правые столбцы по сглаженным данным) [14]

2019 год									
Месяц	Вещество	Fe		Cl		Cu		NH ₄	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Январь	Cl	0,02	0,89						
	Cu	-0,30	-0,86	-0,42	-0,95				
	NH ₄	0,19	0,82	0,26	0,89	0,09	-0,92		
	NO ₂	0,26	-0,57	0,13	-0,73	-0,01	0,89	0,14	-0,82
Февраль	Cl	-0,66	-0,92						
	Cu	0,81	0,99	-0,59	-0,91				
	NH ₄	0,21	0,92	-0,02	-0,76	0,21	0,93		
	NO ₂	0,43	0,97	-0,47	-0,96	0,49	0,97	0,23	0,87
Март	Cl	-0,66	-0,97						
	Cu	0,86	1,00	-0,71	-0,98				
	NH ₄	0,49	0,86	-0,44	-0,93	0,66	0,86		
	NO ₂	0,09	-0,30	-0,40	0,18	0,14	-0,30	0,45	0,19
Апрель	Cl	0,10	0,83						
	Cu	0,34	-0,13	-0,37	-0,61				

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Апрель	NH ₄	0,12	-0,82	0,38	-0,45	-0,11	-0,27		
	NO ₂	0,15	0,79	-0,15	0,65	0,02	-0,25	-0,17	-0,58
Май	Cl	0,19	0,57						
	Cu	0,47	0,09	0,59	0,53				
	NH ₄	0,52	0,85	-0,15	0,79	0,18	0,49		
	NO ₂	-0,41	0,19	-0,36	-0,22	-0,89	-0,94	-0,12	-0,22
Июнь	Cl	-0,16	-0,46						
	Cu	0,06	-0,41	0,50	-0,41				
	NH ₄	0,25	0,89	0,06	-0,31	0,07	-0,66		
	NO ₂	-0,05	0,50	-0,57	0,22	-0,62	-0,95	-0,11	0,69
Июль	Cl	-0,60	0,00						
	Cu	-0,37	-0,01	0,39	0,92				
	NH ₄	-0,01	-0,48	0,15	0,12	0,21	0,01		
	NO ₂	0,19	-0,57	-0,51	-0,81	-0,64	-0,80	0,05	0,25
Август	Cl	0,09	-0,56						
	Cu	0,69	0,98	-0,17	-0,55				
	NH ₄	0,20	0,62	0,29	0,06	0,10	0,56		
	NO ₂	0,19	0,88	-0,40	-0,70	0,49	0,86	0,22	0,62
Сентябрь	Cl	0,21	0,88						
	Cu	0,63	0,76	0,12	0,51				
	NH ₄	0,32	-0,89	-0,24	-0,96	0,18	-0,55		
	NO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
Октябрь	Cl	0,30	0,91						
	Cu	0,59	0,69	0,29	0,53				
	NH ₄	0,46	0,97	0,09	0,90	0,44	0,59		
	NO ₂	0,30	-0,76	-0,12	-0,86	0,59	-0,12	-0,01	-0,80
Ноябрь	Cl	-0,30	-0,82						
	Cu	0,43	0,93	-0,15	-0,62				
	NH ₄	-0,04	-0,22	0,76	0,66	0,17	0,11		
	NO ₂	-0,52	-0,88	0,77	0,95	0,00	-0,66	0,75	0,61
Декабрь	Cl	0,10	-0,63						
	Cu	-0,32	-0,21	-0,42	-0,46				
	NH ₄	-0,09	0,83	-0,07	-0,78	0,53	0,29		
	NO ₂	-0,21	0,69	-0,28	-0,79	0,46	0,43	0,54	0,97
2020 год									
Месяц	Вещество	Fe		Cl		Cu		NH ₄	
Январь	Cl	-0,41	-0,45						
	Cu	-0,37	-0,63	0,73	0,98				
	NH ₄	0,52	0,98	-0,24	-0,43	-0,35	-0,51		
	NO ₂	0,66	0,93	-0,47	-0,58	-0,37	-0,72	0,38	0,89

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Февраль	Cl	0,06	0,65						
	Cu	-0,02	0,03	0,05	-0,33				
	NH ₄	0,10	-0,13	0,32	-0,65	-0,10	0,73		
	NO ₂	0,15	-0,40	0,01	-0,89	0,17	0,57	0,73	0,91
Март	Cl	-0,26	-0,86						
	Cu	0,24	0,21	-0,08	-0,15				
	NH ₄	-0,18	-0,77	0,01	0,88	-0,13	-0,49		
	NO ₂	-0,35	0,21	-0,13	-0,66	-0,03	0,09	-0,17	-0,68
Апрель	Cl	0,06	-0,27						
	Cu	0,17	0,52	0,19	0,64				
	NH ₄	0,00	0,94	-0,14	-0,07	-0,18	0,63		
	NO ₂	-0,10	-0,88	-0,07	-0,16	-0,53	-0,81	-0,11	-0,95
Май	Cl	0,55	0,80						
	Cu	0,19	-0,44	0,24	-0,65				
	NH ₄	0,38	0,12	0,23	0,15	0,11	-0,24		
	NO ₂	0,32	0,82	0,15	0,37	0,07	0,03	0,74	0,01
Июнь	Cl	-0,33	-0,68						
	Cu	0,61	0,61	-0,38	-0,04				
	NH ₄	0,84	0,93	-0,22	-0,82	0,41	0,51		
	NO ₂	-0,14	-0,72	0,11	0,56	-0,29	-0,54	0,04	-0,73
Июль	Cl	-0,41	0,36						
	Cu	0,15	-0,59	-0,68	-0,94				
	NH ₄	-0,11	0,70	0,27	0,76	0,21	-0,81		
	NO ₂		-		-		-		-
Август	Cl	0,08	0,19						
	Cu	0,01	-0,05	0,62	0,96				
	NH ₄	-0,23	-0,71	-0,16	-0,64	0,35	-0,42		
	NO ₂		-		-		-		-
Сентябрь	Cl	-0,20	0,68						
	Cu	-0,05	-0,82	-0,61	-0,91				
	NH ₄	0,58	-0,66	-0,67	-0,99	0,57	0,90		
	NO ₂		-		-		-		-
Октябрь	Cl	-0,17	-0,65						
	Cu	0,32	-0,60	-0,13	0,12				
	NH ₄	0,42	0,93	-0,38	-0,40	0,15	-0,72		
	NO ₂	0,12	0,70	0,01	-0,09	0,03	-0,78	0,53	0,85
Ноябрь	Cl	-0,18	-0,90						
	Cu	0,61	0,67	-0,02	-0,61				
	NH ₄	0,38	0,94	-0,17	-0,93	0,23	0,70		
	NO ₂	0,39	0,88	-0,32	-0,74	0,35	0,52	0,54	0,81
Декабрь	Cl	0,18	0,86						
	Cu	0,00	0,71	-0,09	0,45				
	NH ₄	0,00	-0,95	-0,07	-0,92	0,15	-0,47		
	NO ₂	-0,27	-0,92	0,16	-0,67	-0,24	-0,84	-0,11	0,81

Очевидно, что крайне маловероятна ситуация, когда независимые ежедневные изменения концентрации разных веществ со случайными амплитудами и периодом могут происходить синхронно [14,56,120]. Тем не менее, такие факты наблюдаются в экспериментах (Таблица 4.2). Поэтому приходится признать взаимообусловленность процессов гидрохимической динамики. В частности:

- при симбатности (схожести ежедневных повышений/понижений концентрации) вещества участвуют в некотором водно-экологическом процессе в едином направлении, например, в качестве реагентов или продуктов;

- при антибатности вещества также участвуют в некотором едином процессе, но только в противоположных направлениях, например, одно - в качестве реагента, а другое – в качестве продукта.

Таким образом, экспериментальные данные указывают на согласованную изменчивость концентрации разных веществ, загрязняющих воду Исаковского водохранилища. Это позволило выдвинуть предположение об их совместном, полном или частичном, участии в кругообороте протекающих в водном объекте симбатных процессов по принципам совместного увеличения/снижения концентрации в качестве продуктов/реагентов или роста одного за счет снижения другого по принципу «хищник/жертва» для антибатных процессов.

4.1.2 Корреляционные связи между показателями качества воды по массиву месячных данных

Полный комплекс исследований был осуществлен по 28 показателям на базе данных Б за период 2014-2022 гг. (108 месяцев). К данным выборкам был применен разработанный статистический подход, детально описанный во второй главе. Данный алгоритм оценки применим к показателям с выраженной сезонностью изменения и полезен для предприятий, которые используют воду в течение года или же длительный период времени (несколько сезонов).

Предварительно для исследуемых в дальнейшем показателей составлена корреляционная матрица (Приложение Д). Выделены значимые коэффициенты корреляции и показатели, оказывающие как отрицательное, так и положительное влияние на значение анализируемого компонента. В таблице 4.3 представлены переменные, имеющие значимые корреляционные связи с исследуемыми показателями (Приложение З). Последние три показателя таблицы являются комплексными характеристиками состояния водной среды водоема.

Таблица 4.3 – Значимые корреляционные связи показателей качества воды

Значимый фактор	Положительный r_k	Отрицательный r_k
X13	X7; X8; X10; X11; X14; X15; X18	X1; X2; X3; X4; X9; X22; X23
X14	X7; X8; X10; X11; X13; X15; X18	X1; X2; X3; X4; X9; X16; X22
X11	X6; X7; X8; X13; X14; X16; X18; X33	X1; X2; X3; X4; X9
X18	X5; X8; X10; X12; X13; X14; X15; X16; X19; X21; X23; X24	X1; X2; X9; X11; X20; X22
X19	X16; X18; X29	X9; X11; X20; X23
X27	X3; X4; X17; X28	X1; X2; X9
X17	X3; X4; X5; X29; X31; X27; X24; X25	X22; X23
X26	X10; X13; X14; X15; X33	X3; X4; X17; X24
X33	X7; X8; X10; X11; X13; X14; X15; X26	X3; X4; X17; X24; X25; X27; X28; X30; X31

В результате первичной статистической обработки выделены группы показателей (таблица 4.4), характеризующих среду (SR), антропогенное воздействие (A) и отклик экосистемы водоема на внешние воздействия (K).

На схеме рисунка 4.1 представлен результат корреляционного анализа выбранных показателей в виде графа наиболее значимых корреляционных связей. Показатели группы SR выделены зеленым цветом, группы A — серым цветом, группы K — желтым цветом, дугами с весами (коэффициенты парной корреляции) показаны значимые связи между показателями, красным цветом обозначены наиболее существенные связи. Во временных рядах некоторых показателей выделена сезонность с периодом 12 месяцев. На рисунке 4.1 они отмечены красной звездочкой.

Таблица 4.4 — Показатели, выбранные для детального анализа

def	Показатели	def	Показатели
Группа SR		Группа A (содержание в пробах воды)	
X1	Уровень водоема по Балтийскому морю, м	X6	Мутность, мг/дм ³
X3	Температура воды на глубине забора, °C	X8	Щелочность, ммоль/дм ³
X4	Температура воздуха, °C	X13	Сухой остаток, мг/дм ³
Группа K		X15	Хлориды, мг/дм ³
X7	Водородный показатель (pH)	X20	Сероводород, мг/дм ³
X26	Индекс самоочищения воды	X22	Нитраты-ионы, мг/дм ³
X17	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅), мгО/дм ³	X24	Общее микробное число (ОМЧ) при температуре 37 °C, КОЕ/см ³
X33	Растворенный кислород (РК), мг/дм ³	X10	Магний, мг/дм ³

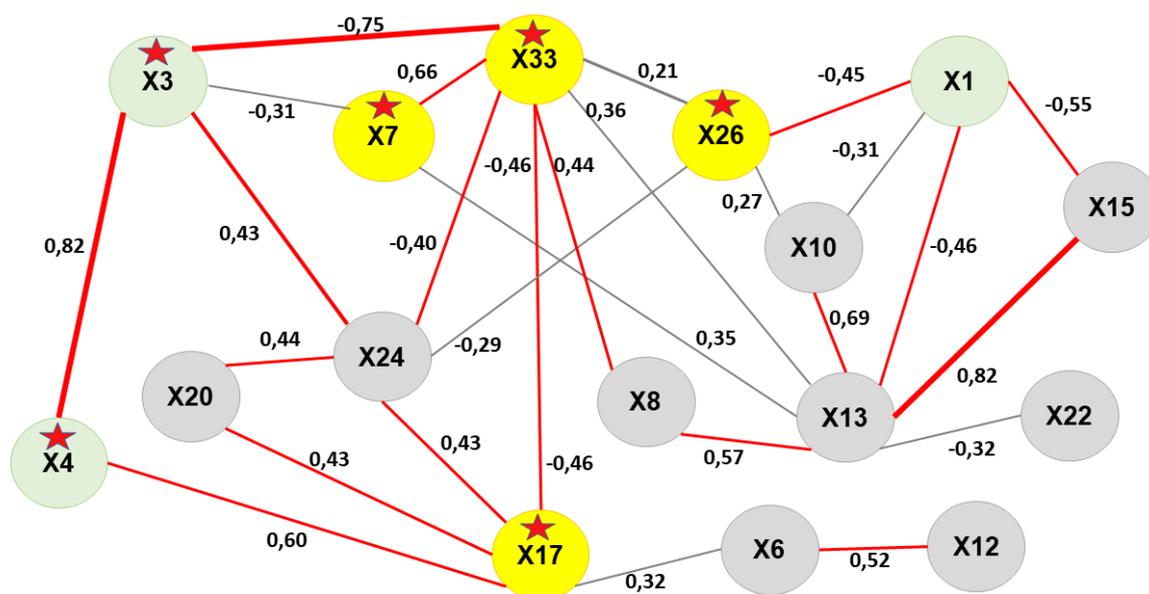


Рисунок 4.1 — Граф корреляционных связей показателей

Анализ графа связей по силе и числу значимых корреляций позволяет выделить три узловых показателя: **растворенный кислород (X33)** как наиболее информативный индикатор отклика водной среды водоема как на антропогенное воздействие (X24, X8, X13, X22, X20), так и на внешние условия (X3); **ОМЧ 37°/24 ч (X24)** как фактор общей зараженности воды водоема; **сухой остаток (X13)** как фактор, показывающий общую минерализацию воды. Среди внешних факторов среды выделяются температурные показатели (X3 и X4), которые задают сезонность изменения X7, X17, X26, X33.

На основе выполненного корреляционного анализа выявлены характерные особенности динамики самоочищения Исаковского водохранилища и выстроена цепочка взаимосвязанных последовательных изменений показателей. Рост температуры воды X3 увеличивает скорость химических реакций (окисления в водоемах) и сдвигает значение pH в кислую среду (коэффициент корреляции связи pH с X3 $r = -0,31$), затем запускает в водоемах как химические реакции (окисление, нитрификация), так и стимулирует рост микроорганизмов (МО). Коэффициенты корреляции температуры воды с аллохтонной микрофлорой X24 ($r = 0,43$), внесенной в водоем в результате антропогенного загрязнения и местной — автохтонной микрофлорой X25 ($r = 0,35$) свидетельствуют о том, что повышение температуры воды в большей степени ускоряет развитие чужеродной антропогенной микрофлоры, в результате чего индекс самоочищения X26 существенно снижается ($r = -0,29$). Также за счет аллохтонной микрофлоры происходит повышение уровня БПК₅ ($r = 0,43$) и снижается содержание растворенного кислорода ($r = -0,40$), который идет на поглощение

микроорганизмами в ходе окисления загрязняющих веществ, разрушения белков и непосредственно развития.

Роль МО в самоочищении водоема весомая, что редко учитывается в исследованиях и абсолютно не берется во внимание при определении наиболее популярных расчетных индексов качества воды.

4.2 Исследование динамики содержания растворенного кислорода с использованием статистического подхода

Содержание в воде растворимого кислорода, имеющего существенное значение для самоочищения водоема, является, кроме того, самостоятельным критерием качества воды. Кислород постоянно присутствует в растворенном виде в воде. РК в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния[21,22].

Растворенный кислород (РК, показатель Х33) должен содержаться в воде в достаточном количестве, обеспечивая условия для дыхания гидробионтов. Снижение РК свидетельствует об изменении биологических процессов в водоеме, о загрязнении водоема биохимическими-окисляющими веществами (в первую очередь органическими). Потребление кислорода обусловлено также химическими процессами окисления содержащихся в воде примесей, а также дыханием водных организмов. Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом, а также в результате фотосинтеза водными растениями, т.е. в результате физико-химических и биохимических процессов. Кроме этого, кислород поступает с дождевыми и снеговыми водами.

Содержание РК зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, количества осадков, минерализации воды и пр. В поверхностных водах содержание РК может колебаться от 0 до 14 мг/дм³ и подвержено сезонным и суточным колебаниям.

В эвтрофицированных и сильно загрязненных органическими соединениями водных объектах может иметь место значительный дефицит кислорода. В водоемах в любой период года до 12 часов дня концентрация РК должна быть не меньше 4 мг/дм³.

Контроль содержания РК в воде — чрезвычайная проблема, в решении которой заинтересованы практически все отрасли народного хозяйства, включая черную и цветную металлургию, сельское хозяйство, рыбную и пищевую промышленности и др.

Изменения содержания растворенного кислорода наблюдаются как по сезонам, так и в течение суток, что связано с изменением температуры воды, освещенностью и процессами жизнедеятельности гидробионтов, потребляющих и выделяющих кислород.

На рисунке 4.2 представлена динамика изменения ХЗЗ в течение года на протяжении исследуемого периода.

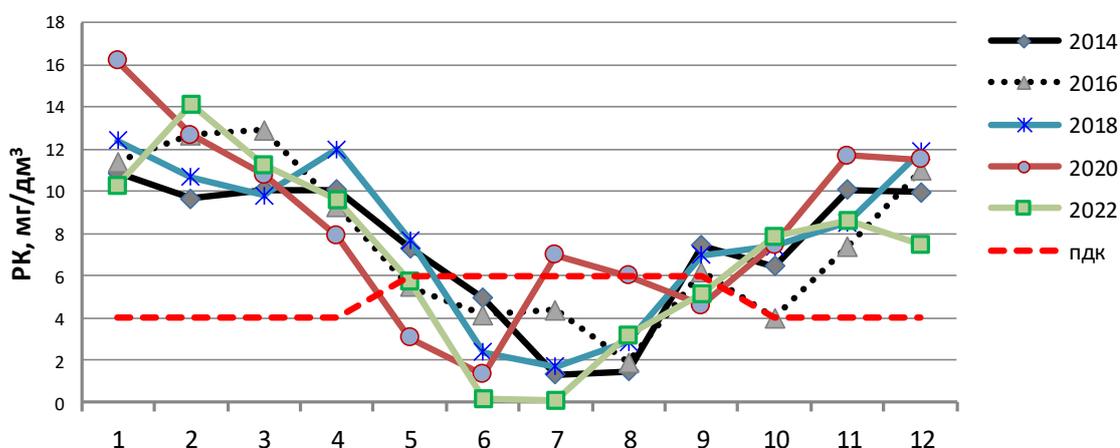


Рисунок 4.2 — Динамика изменения по месяцам содержания растворенного кислорода в поверхностных водах Исаковского водохранилища за 2014–2022 г.

В течение исследуемого периода времени за РК наблюдаются сезонные изменения. В холодное время года (октябрь-апрель) содержание РК не снижается ниже предельного, в теплое время года (май-сентябрь) содержание РК опускается ниже нормы.

На поверхности водохранилища содержание РК в течение года находится на высоком уровне, что связано с соприкосновением с воздухом. Во время практических исследований качества воды Исаковского водохранилища были отобраны и исследованы пробы воды по базам отдыха. Отдыхающие при купании увеличивают скорость перемешивания воды вблизи берега. Значения содержания РК показали, что чем больше отдыхающих, тем выше значение РК.

В таблице 4.5 представлены базы отдыха и соответствующие значения содержания РК.

Таблица 4.5 – Содержание РК в организованных местах отдыха на глубине 0,5 м [19]

Место отбора	Содержание РК, мг/дм ³	Рейтинг популярности среди населения
Пляж «Бамбук»	10,2	1
Село Троицкое	11,5	2
База отдыха «Луч»	9	3
База отдыха «Лагуна»	8,7	4
База отдыха «Огонек»	8,5	5
Плотина	8,27	СЗЗ – купание запрещено

Изменение содержания РК по глубинам значительно и связано со скоростью перемешивания воды, прозрачностью воды, количеством света необходимого для фотосинтеза растениями и водорослями. Содержание РК на глубинах до 5 м выше предельно допустимого в течение года. На глубине 7 м (основной забор воды) содержание РК в течение года меняется от 0 до 14,5 мг/дм³ по сезонам. Снижение содержания РК начинается в мае и нормализуется к октябрю (рис 4.3). В придонном слое воды наблюдается гипоксия в течение года (0-5мг/дм³), что создает условия для развития анаэробных бактерий. В придонных водах и донных отложениях образуются сероводородные карманы. Наблюдения по глубинам в течение года представлены на рисунке 4.3.

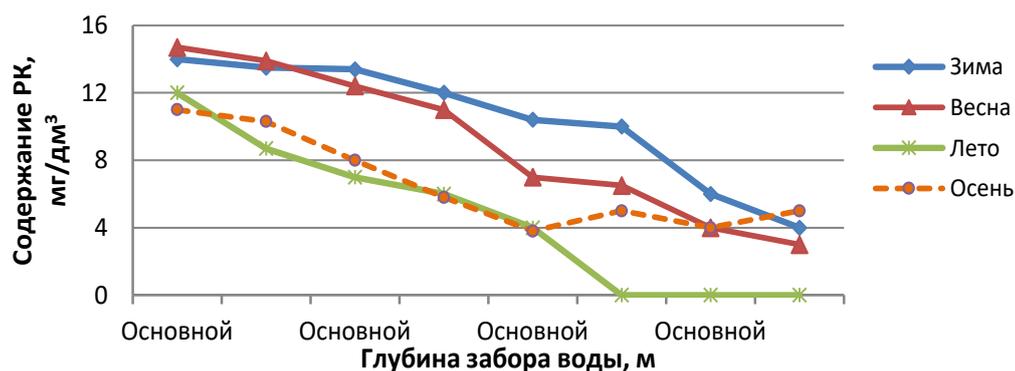


Рисунок 4.3 — Содержание растворенного кислорода на разных глубинах в течение года (по сезонам) [19]

Основными потребителями и производителями кислорода в толще воды являются микроорганизмы. Процессы жизнедеятельности МО подвержены как сезонным, так и суточным изменениям. В течение светового дня МО производят кислород в процессе фотосинтеза. В темное время суток МО используют кислород воды при дыхании. На

рисунке 4.4 представлена динамика изменения количества РК в течение суток. Максимальное количество кислорода в воде наблюдается в 11-12 часов —100 %. Данный показатель определен методом йодометрического титрования по Винклеру (МВВ081/12-0008-01). Объем выборки Х33 составляет 108 значений в течение 2014-2022 гг. Минимальное значение равно 0 (зафиксировано 15 августа 2021 г.) максимальное значение равно 14,5 мг/дм³ (зафиксировано 18 февраля 2020 г.). В таблице 4.6 представлены основные статистические характеристики показателя Х33.

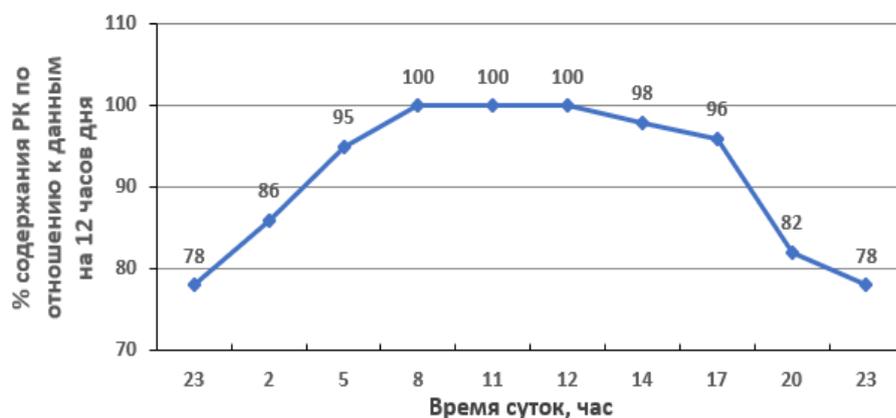


Рисунок 4.4 — Динамика изменения содержания РК в течение суток [21]

Таблица 4.6 — Основные статистические параметры выборки показателя Х33

Параметр	Обозначения	Значение, мг/дм ³
Выборочное среднее	\bar{X}_B	7,47±0,37
Исправленное выборочное СКО	S	3,85
Медиана	M_e	7,67
Мода	M_o	10,70
Коэффициент асимметрии	A_s	-0,18
Эксцесс	E_k	-1,03
Коэффициент вариации, %	V (45-50%)	51,48
Точность определения средней, %	C_s (3-5%)	4,95

Кроме основных статистических параметров выборки для выполнения следующих этапов следует определиться с направлением использования воды водоема и нормативным значением предельно допустимой концентрации (ПДК) исследуемого показателя в воде. Между качеством воды и содержанием РК существует прямая зависимость: чем выше содержание РК, тем чище вода. Следовательно, отклонением от нормы является не

повышение концентрации, а ее снижение ниже предельного значения. В таблице 4.4 представлены характеристики качества воды в соответствии с содержанием РК.

Таблица 4.7 — Классификация качества воды по содержанию РК [21,42,43]

№	Класс качества воды	Содержание РК, мг/дм ³	
		Лето	Зима
1	Очень чистая	9	13-14
2	Чистая	8	11-12
3	Умеренно загрязненная	6-7	9-10
4	Загрязненная	4-5	5-8
5	Грязная	2-3	1-4
6	Очень грязная	0	0

На основе исходных данных построен график временного ряда (по оси ОХ отчается время t , по оси ОУ — значения временного ряда РК (Рисунок 4.5).

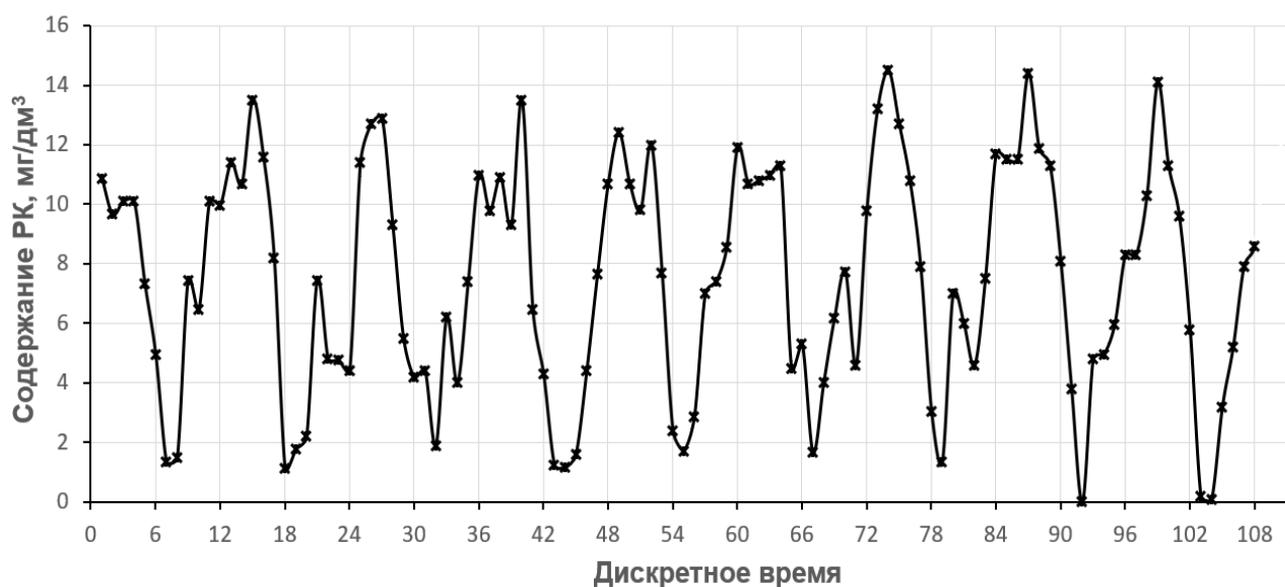


Рисунок 4.5 — График изменения показателя Х33 по времени [21]

В изменении значений показателя наблюдается цикличность. Аномальные наблюдения не выявлены. Рассчитаны коэффициенты корреляции для временных рядов со сдвигом. На рисунке 4.6 представлена автокоррелограмма показателя Х33.

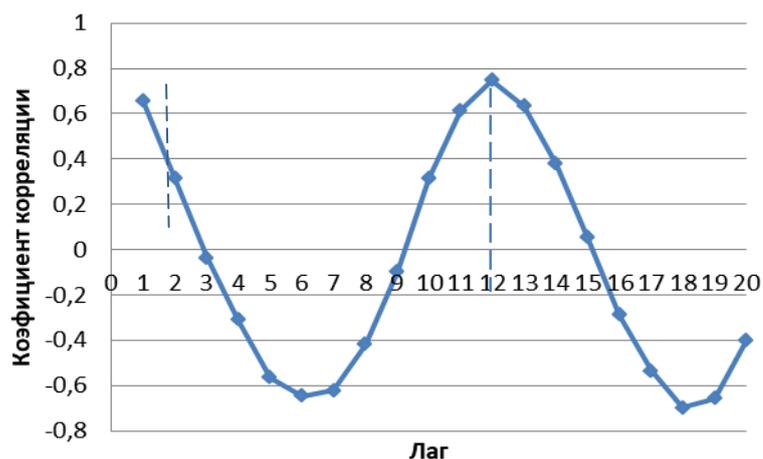


Рисунок 4.6 — Автокоррелограмма показателя Х33 [21]

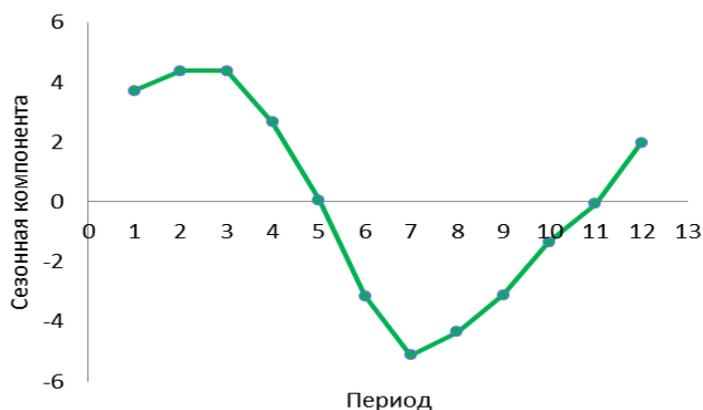
Согласно автокоррелограмме:

- исследуемый ряд содержит тренд (rk_1 значим);
- цикл составляет 12 значений (rk_{12} -max).

Далее ряд данных содержания растворимого кислорода в воде (X_{PK} , мг/дм³) исследовался с использованием метода сезонной декомпозиции. Построена модель «Т+S»:

$$X_{PK} = T + S + E, \quad (4.1)$$

где $T = 0,0094 \cdot t + 6,8036$ — трендовая компонента, S и E — сезонная с периодом 12 месяцев (Рисунок 4.7) и случайная компоненты соответственно, t — дискретное время (мес.).

Рисунок 4.7 — Значение сезонной компоненты S , мг/дм³ [21]

Модель «Т+S» удобна для анализа закономерностей изменения показателя РК во времени при отсутствии значительных отклонений от нормального хода показателей, влияющих на значения РК. В противном случае будут наблюдаться существенные расхождения между фактическими значениями РК и смоделированными по уравнению (4.1).

В таком случае целесообразно разработать регрессионные модели с привлечением выборки других показателей качества воды.

Для определения факторов из составленного массива, оказывающих влияние на РК (X33), составлена корреляционная матрица (Приложение Д). Согласно значимым коэффициентам парной корреляции влияние на X33 оказывают следующие показатели:

X7; X8; X10; X11; X13; X14; X15; X22; X26 — положительное;

X3; X4; X17; X24; X25; X27; X28; X30 — отрицательное.

Изменение выходного показателя X33 объясняется влиянием многих факторов X_i , в таком случае для прогноза используются модели множественной регрессии. Общий вид модели представлен формулой:

$$\bar{Y} = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (4.2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k — входные признаки,

k — число признаков,

\bar{Y} — среднее значение зависимого признака (результативный признак).

Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера.

Рассматривались модели линейной множественной регрессии с различным составом входных признаков. При отборе лучшего уравнения учитывались: коэффициент множественной корреляции, СКО остатков, значимость параметров модели, оцениваемой по критерию Стьюдента, ошибки прогноза первого рода (когда модель свидетельствует об отклонении от нормы, а по факту — норма), ошибки прогноза второго рода (когда модель показывает норму, а по факту — превышение нормы).

В результате была отобрана лучшая **модель X**, построенная на массиве данных Б, которая описывается формулой:

$$Y_{PK} = 7,8245 \cdot X7 - 0,2155 \cdot X3 + 1,3805 \cdot X8 + 0,3482 \cdot X22 - 0,0097 \cdot X24 - 60,7169, \quad (4.2)$$

где коэффициент множественной корреляции R равен 0,90, ошибки 1-го рода — 8,9 %, 2-го рода — 7,1 %, СКО остатков — 1,74 мг/дм³.

Аналогично была получена лучшая **модель Z**, по усредненным помесечно значениям первого массива суточных данных, которая описывается формулой:

$$Y_{PK} = 9,8073 \cdot Z7 - 0,2946 \cdot Z3 + 1,5536 \cdot Z8 - 0,0667 \cdot Z15 - 71,8448, \quad (4.3)$$

где R=0,89, ошибки 1-го рода — 4,5 %, 2-го рода — 5,4 %, СКО остатков — 1,73 мг/дм³.

Для проверки всех типов моделей (4.1–4.3) взяты данные 2023 года (январь, февраль, март и апрель). На рисунке 4.8 показаны графики фактических значений показателя содержания РК и значений, спрогнозированных по описанным выше моделям. Зона прогноза для модели Z оказалась шире, поскольку исходные данные по массиву А ограничены периодом в 84 месяца.

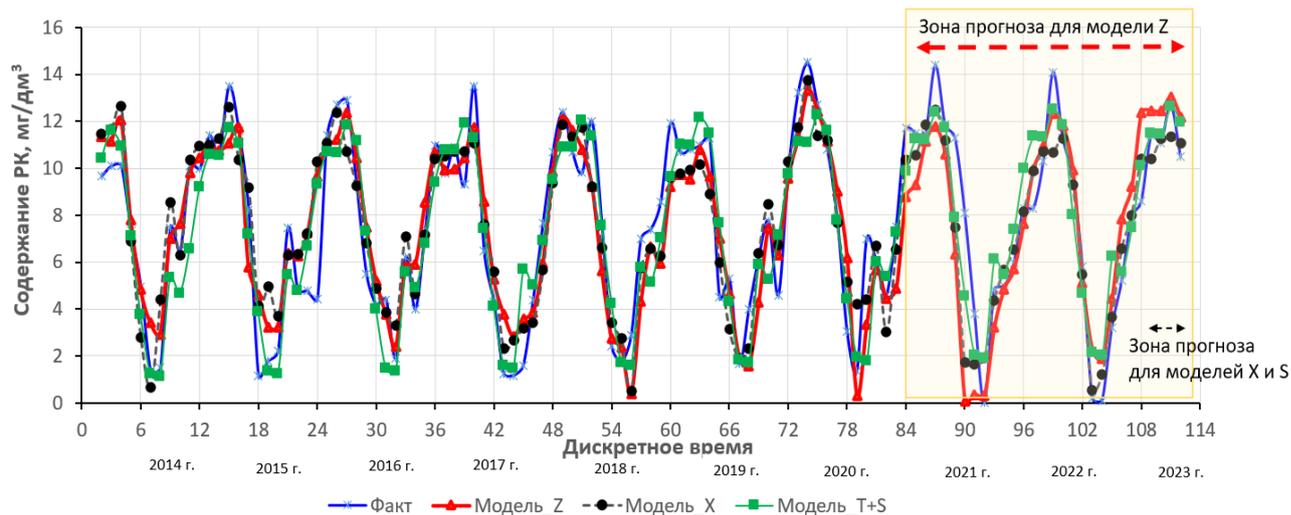


Рисунок 4.8 — Сравнение различных моделей динамики изменения содержания растворенного кислорода в воде Исаковского водохранилища

Относительные погрешности прогноза по моделям следующие: 6,6 % для модели X; 9,9 % для модели Z; 4,5 % для модели «Т+S».

Полученные модели содержания растворимого кислорода в воде имеют хорошую точность и могут использоваться для прогнозирования содержания РК в определенный период года и анализа качества воды по соответствующей классификации.

4.3 Исследование динамики содержания БПК₅ с использованием статистического подхода

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅, X₁₇) — количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде в течение 5 суток. БПК является одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоёма органическими веществами, оно определяет количество легкоокисляющихся органических загрязняющих веществ в воде.

В зависимости от категории водоема величина БПК₅ регламентируется следующим образом: не более 3 мг/дм³ для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг/дм³ для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования. Величины БПК₅ в водоемах с различной степенью загрязненности приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 — Величины БПК₅ в водоемах с различной степенью загрязненности [42,43]

Степень загрязнения (классы водоемов)	БПК ₅ , мг/дм ³
Очень чистые	0,5-1,0
Чистые	1,1-1,9
Умеренно загрязненные	2,0-2,9
Загрязненные	3,0-3,9
Грязные	4,0-10,0
Очень грязные	10,0

Объем выборки показателя Х17 составляет 108 значений. Исследуемый период охватывает 2014-2022 гг., т.е. 9 лет. Минимальное значение показателя равно 0 мг/дм³, зафиксировано в ноябре 2022 г., максимальное значение 7,8 мг/дм³, зафиксировано в августе 2016 г. Динамика изменения значения БПК₅ в Исаковском водохранилище представлена на рисунке 4.9.

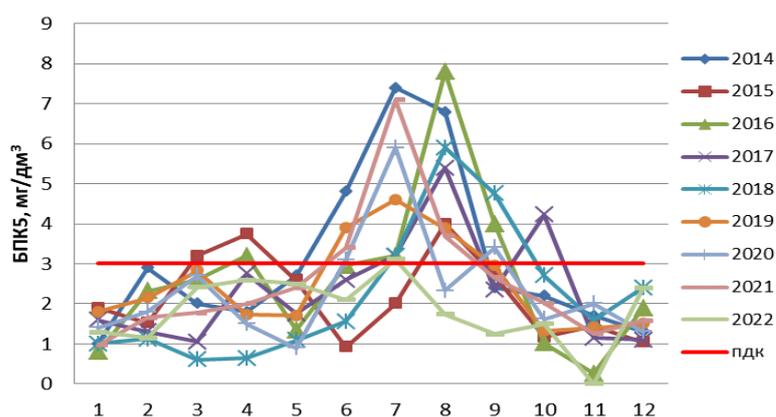


Рисунок 4.9 — Динамика изменения по месяцам содержания БПК₅ в поверхностных водах Исаковского водохранилища за 2014–2022 гг.

Таблица 4.9 — Основные статистические параметры выборки показателя Х17

Параметр	Обозначения	Значение, мг/дм ³
Выборочное среднее	\bar{X}	2,40±0,14

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3
Исправленное выборочное СКО	S	1,49
Медиана	M_e	2
Мода	M_o	3,2
Коэффициент асимметрии	A_s	1,59
Экцесс	E_k	2,83
Коэффициент вариации, %	V	62,28
Точность определения средней, %	C_s	5,99

По описанной во 2 разделе методике и аналогично с X33 [14] исследуя временной ряд X17. На рисунке 4.10 представлена автокоррелограмма показателя X17, которая свидетельствует о наличии тренда и сезонной компоненты с периодом 12 месяцев.

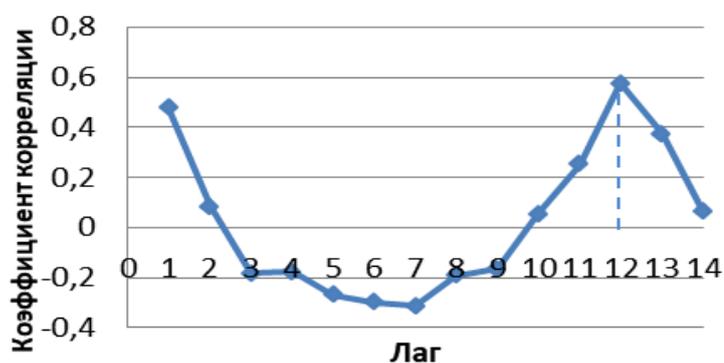


Рисунок 4.10 — Автокоррелограмма X17

Выделена сезонная компонента S , график которой показан на рисунке 4.11.



Рисунок 4.11 — Сезонная компонента S17

Модель «Т+S» для БПК₅ имеет вид:

$$X_{\text{БПК}} = T + S + E, \quad (4.4)$$

где $T = 2,752 - 0,0064t$ — трендовая компонента, S и E — сезонная с периодом 12 месяцев и случайная компоненты соответственно, t — дискретное время (мес.).

Построены регрессионные модели:

Модель X (по данным второго массива месячных данных):

$$Y_{\text{БПК}} = 1,171 + 0,0644 \cdot X_4 + 0,2417 \cdot X_6 + 1,2279 \cdot X_{20} - 0,1883 \cdot X_{22}, \quad (4.5)$$

где коэффициент множественной корреляции R равен 0,72, ошибки 1-го рода — 14,3 %, 2-го рода — 6,3 %, СКО остатков — 1,05 мг/дм³;

Модель Z (по усредненным помесечно значениям первого массива суточных данных):

$$Y_{\text{БПК}} = 23,0571 + 0,0758 \cdot Z_3 + 0,7596 \cdot Z_6 - 2,7990 \cdot Z_7 - 10,2764 \cdot Z_{23}, \quad (4.6)$$

где $R=0,75$, ошибки 1-го рода — 10,7 %, 2-го рода — 6,25 %, СКО остатков — 1,04 мг/дм³.

Для проверки моделей взяты данные 2023 года (январь, февраль, март и апрель). На рисунке 4.12 показаны графики фактических значений показателя содержания БПК₅ и значений, спрогнозированных по описанным выше моделям. Необходимо отметить, что качество моделей для БПК₅ хуже, чем для моделей РК. При сравнении графиков на рисунках 4.8 и 4.12 видно, что согласованность фактических и прогнозных данных выше для растворенного кислорода чем для БПК₅.

Принцип определения и реактивы для определения РК и БПК₅ идентичны. При определении РК фиксируется фактическое содержание компонента. Для расчета БПК₅ выполняется определение РК дважды, с разницей в 5 дней. Погрешность расчета возрастает в тот период когда, фактическое содержание РК значительно ниже фактической величины БПК₅. Дополнительная подготовка проб может приводить к высоким погрешностям (недостаточное обогащение кислородом или его отсутствие занижает или обнуляет значение БПК₅). Также на значение величины БПК₅ влияют восстановители в составе воды, которые не учитываются при построении моделей.

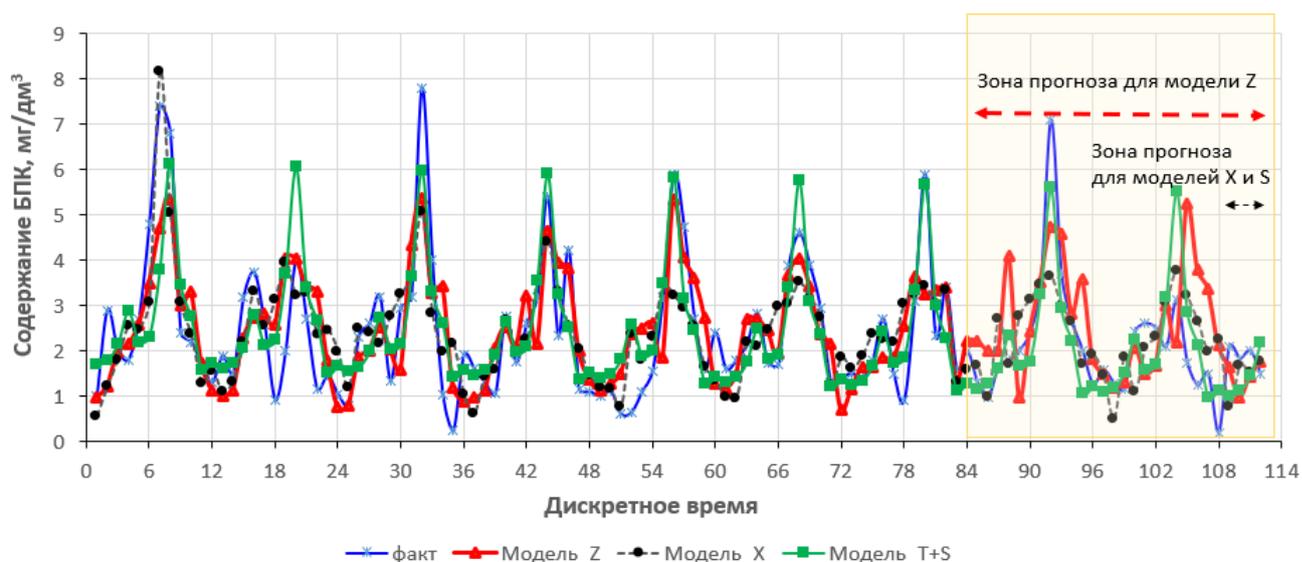


Рисунок 4.12 — Сравнение различных моделей динамики изменения содержания БПК₅ в воде Исаковского водохранилища

4.4 Результаты исследования качества воды Исаковского водохранилища с помощью индекса самоочищения

Индекс самоочищения в данной работе представлен показателем X26 и определяется по формуле:

$$X26 = X25/X24, \quad (4.7)$$

где показатели X25 и X24 характеризуют общее микробное число при температурах инкубации 22°C в течение 48 часов и 37°C в течение 24 часов соответственно. Соотношение численностей этих групп микроорганизмов позволяет судить об интенсивности процесса самоочищения, активными участниками которого они являются. Самоочищение в водной среде проходит успешно при значениях X26, равных 4 или выше.

Для определения факторов из составленного массива, оказывающих влияние на X26, используется корреляционный анализ. Согласно значимым коэффициентам парной корреляции влияние на X26 оказывают следующие показатели:

X10; X13; X14; X15; X33 — положительное;

X1; X3; X4; X17; X24 — отрицательное.

По силе влияния наиболее значимым фактором для X26 является показатель X1 — уровень водоема по Балтийскому морю. На рисунке 4.13 построены совмещенные графики изменения по месяцам показателя самоочищения X26 (красная линия) и показателя X40=110,7–X1 (синяя линия), где величина 110,7 взята как самое большое значение из выборки X1. Из данного рисунка видно достаточно сильная согласованность изменения X26 и X40 (сонаправленные), и, следовательно, противоположная направленность X26 с X1.

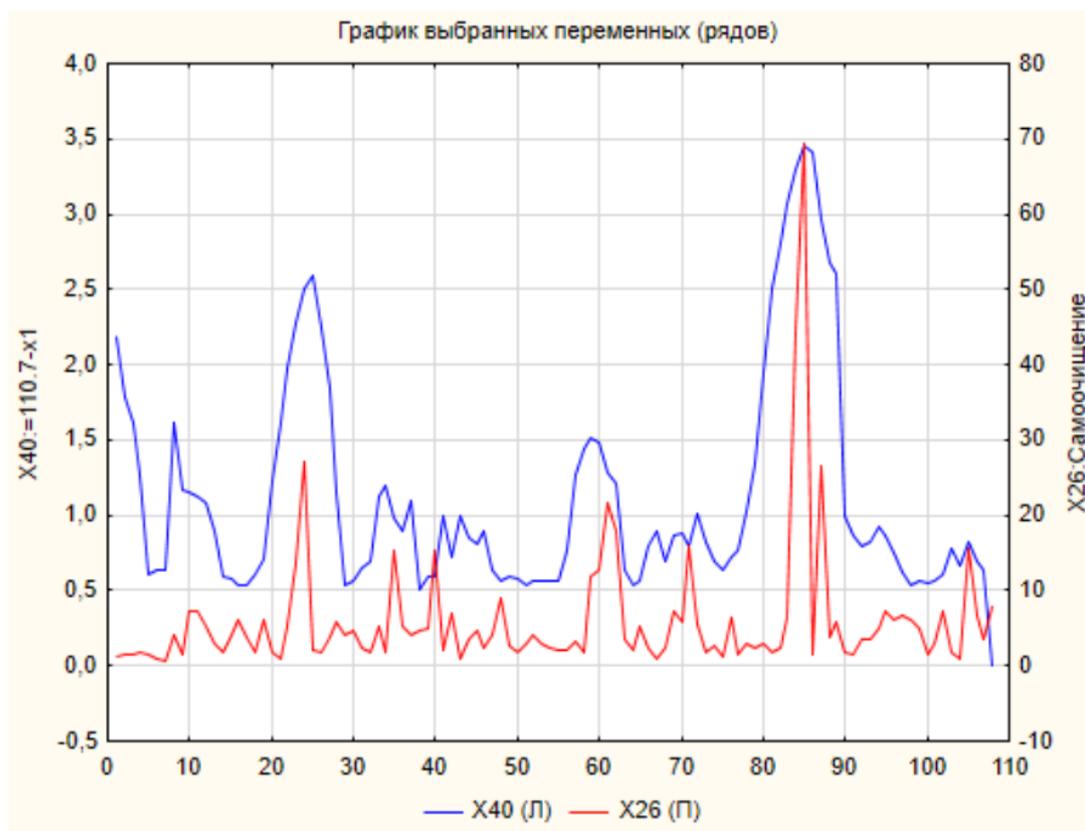


Рисунок 4.13 — Совмещенные графики изменения по месяцам показателя самоочищения X26 и показателя уровня воды

Моделирование, выполненное аналогично п. 4.2–4.3, позволило получить следующие модели со значимыми параметрами:

Модель «Т+S»:

$$X_{\text{самооч.}} = S + 5,953 + E, \quad (4.8)$$

где S и E — сезонная с периодом 12 месяцев и случайная компоненты соответственно, а трендовая компонента имеет незначимый угол наклона.

Модель X (по данным второго массива месячных данных):

$$Y_{\text{самооч.}} = 703,6590 - 6,3815 \cdot X_1 - 0,2474 \cdot X_3 + 0,4312 \cdot X_{10} - 0,2446 \cdot X_{15}, \quad (4.9)$$

где коэффициент множественной корреляции R равен 0,55; СКО остатков — 7,46.

Модели (4.8) и (4.9), несмотря на значимость оцениваемых параметров, имеют недостаточно высокие прогностические возможности. Это мы связываем с особенностями показателя X_{26} , который остро прореагировал на экстремальные условия в 2020 году, связанные с сильной засухой в регионе и сильным понижением уровня воды в водоеме.

Показатели качества воды Исаковского водохранилища, определялись в пробах среднего уровня (110,7м-7м). Чем меньше глубина забора воды (толща воды), тем выше уровень самоочищения водоема. Это связано как с биотическими так и абиотическими факторами. Высокое содержание РК в поверхностном слое воды обуславливает высокую скорость окисления загрязняющих компонентов, кроме этого содержание РК и наличие солнечной энергии стимулирует развитие аэробных микроорганизмов играющих ведущую роль в разложении органики. Не малую роль в поглощении и переработке взвешенных веществ играют гидробионты и растительность, обитающая в поверхностном слое воды.

На рисунке 4.14 представлен граф связи компонентов индекса самоочищения воды X_{24} , X_{25} , X_{26} с другими интегральными показателями качества воды (X_{33} — РК, X_{17} — БПК₅, X_7 — рН воды и X_3 — температура воды (в роли катализатора)).

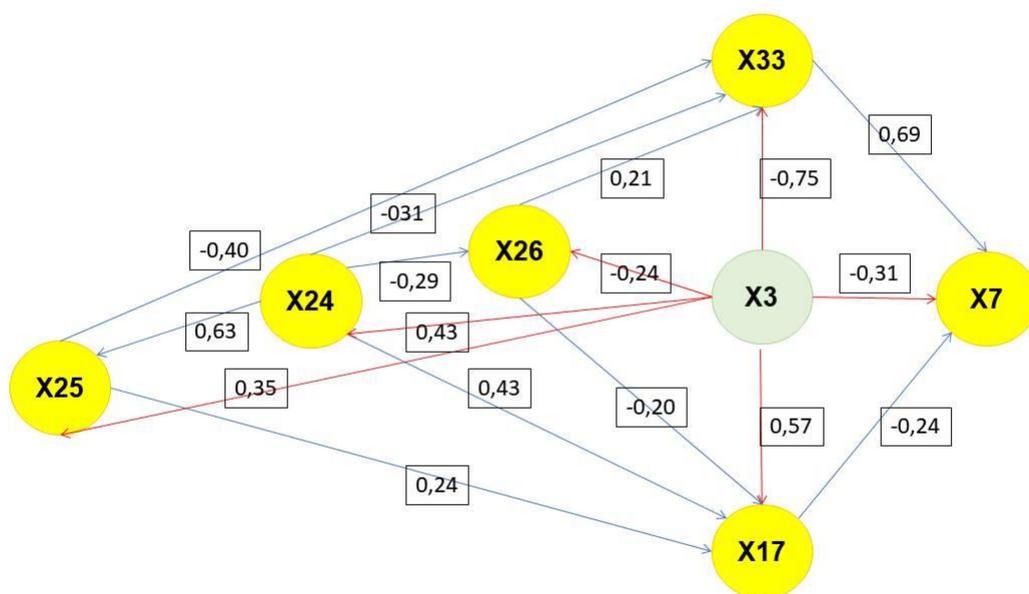


Рисунок 4.14 — Граф связи интегральных показателей качества воды

Рост температуры воды стимулирует увеличение численности МО антропогенного происхождения, приводящие к снижению уровня самоочищения водоема и снижающие содержание РК. Анаэробные условия, создаваемые чрезмерным потреблением РК в толще воды приводят к преобладанию восстановителей в воде. Длительный период кислородного голодания приводит к образованию сероводородных карманов и преобразованию нитратов в нитриты и ионы аммония (вторичному загрязнению водоема).

Сравнивая выходные показатели РК, БПК₅ и индекс самоочищения и сопоставляя влияющие на них факторы с учетом проведенного корреляционного и регрессионного анализа, можно утверждать, что данные показатели характеризуют самоочищение водоема, но при этом они не дублируют друг друга, а отражают с одной стороны, общие тенденции в изменении экологического состояния поверхностных вод, а с другой стороны некоторые специфические особенности, характерные для какого-то одного показателя:

- показатель РК является самым сильным индикатором реагирования водной среды водоема на изменение температуры воздуха и воды, которое моделируется достаточно регулярными циклами с периодом 12 месяцев, а также на «закисление» водоема;

- показатель БПК₅ в наибольшей степени реагирует на присутствие в воде сероводорода, а также на температуру воды и воздуха, и биологическое загрязнение;

- индекс самоочищения X₂₆ наиболее остро реагирует на изменение уровня водоема, содержания ортофосфатов (катализатор для развития фитопланктона), обобщенных колиформ и E.coli (показатели фекальных загрязнений) и образования в воде нитрит-ионов (промежуточный этап нитрификации как в прямом так и в обратном направлении).

4.5 Вывод по главе 4

1. На основе разработанного статистический подхода к исследованию динамических данных показателей качества воды выполнен анализ массивов данных 28 показателя качества воды Исаковского водохранилища за период 2014-2022 гг. Основными показателями, имеющими значение для основных пользователей водными ресурсами водохранилища являются РК, БПК₅, сухой остаток, сульфаты, общая жесткость, взвешенные вещества, рН, обобщенные колиформные бактерии. Статистический анализ большого массива данных позволил углубить существующие представления о динамике изменения экологического состояния водоема при изменении ряда внутренних и внешних факторов.

2. Исаковское водохранилище является сформированной десятилетиями природно-антропогенной экосистемой подверженной как антропогенным загрязнениям, так и природной сезонности. Постоянный минеральный состав водохранилища обусловлен природно-климатическими условиями и характеризуется высоким содержанием сухого остатка, сульфатов, магния.

3. Сезонности подвержены показатели органического загрязнения водоема антропогенное загрязнение и эвтрофикация водоема вследствие повышения температуры воды (азотосодержащие, фосфаты, содержание растворенного кислорода (РК), и БПК₅, микробиологические показатели).

4. Разработаны математические модели динамики изменения показателей качества поверхностных вод водоемов, основанные на методах автокорреляционного анализа и сезонной декомпозиции.

Для показателей Исаковского водохранилища построены уравнения аддитивных моделей показателей, содержащие тренды и сезонные компоненты. Установлено, что концентрация растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода описываются адекватными статистическими моделями с 12-ти месячной цикличностью и возрастающим трендом для растворенного кислорода.

РК в воде в течение года изменяется от 0 до 14,5 мг/дм³. Выявлены сезонные и суточные колебания. Также содержанию РК свойственна вертикальная стратификация. Содержание РК снижается с увеличением глубины. Гипоксидная зона наступает с июля по сентябрь на глубинах более 5 метров. Как следствие, у дна накапливаются сульфиды и сероводород, ограничивающими направления допустимого использования воды водоема.

5. По корреляционной матрице выявлены значимые парные связи между показателями качества воды. Найдены наиболее оптимальные уравнения множественной регрессии показателей качества воды. На практике целесообразно применять те уравнения, в которых для определения значимого показателя (Y_i) требуется минимальное количество входных переменных.

6. Статистически установлено, что в летние месяцы в экосистеме Исаковского водохранилища самоочищение осуществляется на крайне низком уровне ввиду его высокого антропогенного загрязнения. Снижение уровня самоочищения в марте объясняется бурным развитием пиропитовых и диатомовых водорослей со значительной биомассой, которые, несмотря на выделение большого количества кислорода, снижают активность микроорганизмов по очищению водоема.

**ГЛАВА 5. НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ 3 – МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО
ВОДОПОДГОТОВКЕ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО
ВОДООЧИСТКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.
РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ
КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОДООЧИСТКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ.**

5.1 Методика оценки эффективности технологии водоочистки

Вода является сырьем, необходимым практически для любого, как промышленного, так и муниципального предприятия. Основными потребителями очищенной (подготовленной) воды являются промышленность, сельское хозяйство и бытовое хозяйство. Они же являются источниками загрязнения. Физическое загрязнение — попадание плохо растворимых примесей, таких как песок, глина или различный мусор. Биологическим загрязнением называют привнесение в природную среду и размножение в ней нежелательных для человека организмов. Тепловое загрязнение — дополнительный подогрев водоема (способен привести к массовой гибели рыб и других водных обитателей, или же наоборот стать причиной бурного роста водорослей или простейших). Химическое загрязнение — это попадание в водоемы химических веществ, специфических для различных производств или отраслей промышленности и сельского хозяйства.

В зависимости от характера и степени загрязнения исходной воды, а также требований к очищенной воде выбирают методы очистки или их эффективные сочетания (рис.5.1).

Биологические методы используются в основном для очистки сточных вод. Остальные же успешно сочетаются для достижения наилучшего результата в очистке воды для технических и питьевых нужд. Среди различных направлений использования водоемов производство питьевой воды является одним из важнейших. При производстве питьевой воды существенную роль играет процесс окисления. Окислители применяют в практике

подготовки питьевой воды для обеззараживания и улучшения ее органолептических показателей.

На рисунке 5.1 представлены известные способы очистки воды.

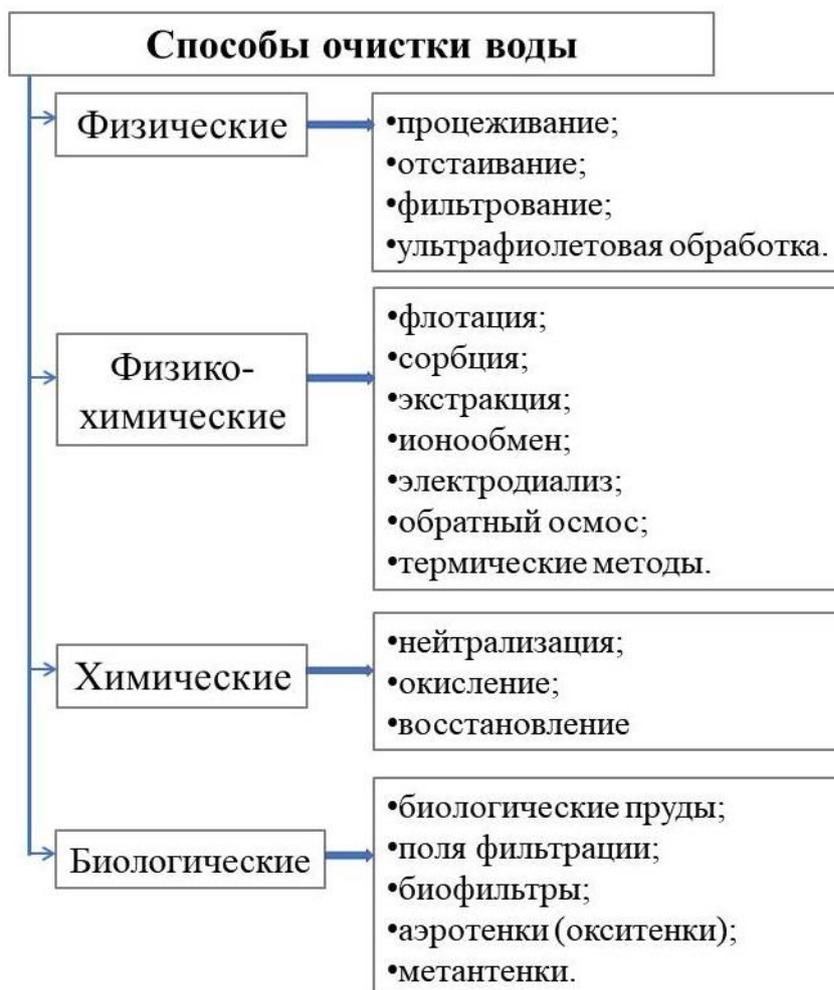


Рисунок 5.1 – Способы очистки воды

Опыт токсиколого-гигиенической и технологической оценки эффективности использования окислителей показывает, что наиболее важным является выбор окислителя для очистки питьевой воды от химических и органических загрязнений. При этом должна учитываться способность некоторых окислителей к реакциям замещения с включением молекул окислителя в образующиеся химические вещества, в результате чего в воде могут появиться нежелательные и даже опасные соединения. Так, при обработке хлором воды, содержащей фенолы, могут образовываться хлорфенолы, придающие ей резкий неприятный запах. Известны также и токсичные хлорорганические соединения. В практике водоподготовки в основном применяют следующие окислители: озон, перманганат калия,

хлор и его производные. Оптимальным в сочетании качество-цена-эффективность из приведенных выше является хлорирование [3,13,16,17,23,129,130,132].

Качество исходной воды подвержено циклическим (сезонным) изменениям [20,21,22]. Эту динамику следует учитывать как в подборе реагентов для химической обработки (окислителей, коагулянтов и флокулянтов), так и в схеме водоподготовки в целом.

Для оптимизации существующих технологий очистки воды в каждом конкретном случае необходимо решить ряд взаимосвязанных задач, связанных как с оценкой водного объекта — источника очищаемой воды, так и критическим анализом используемой схемы очистки. Предлагается решать эти задачи последовательно по этапам, представленным на схеме рисунка 5.2.

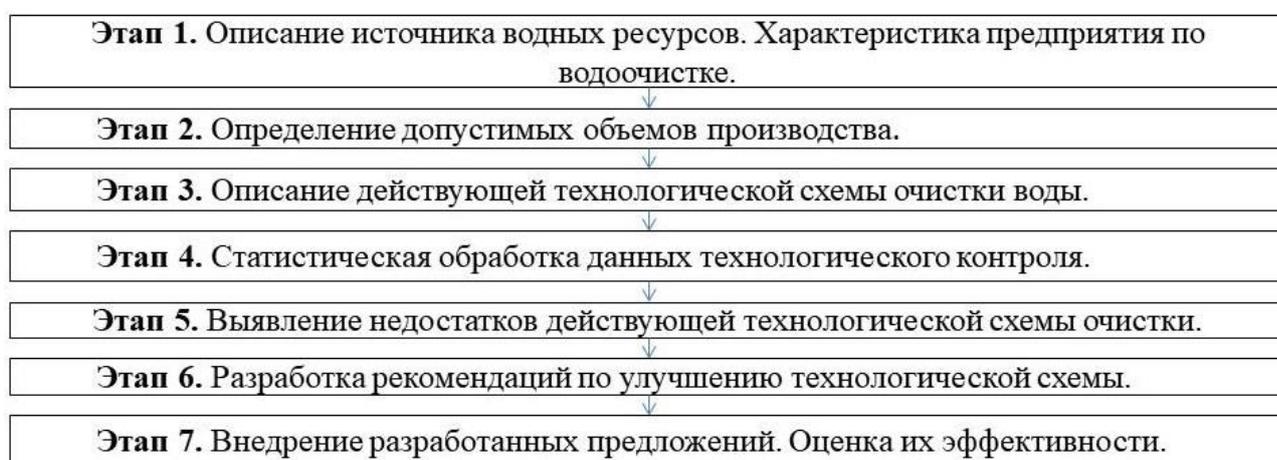


Рисунок 5.2 – Методика оценки эффективности технологии водоочистки и повышение экологической безопасности водоподготовки

Опишем решаемые задачи на каждом этапе:

Этап 1. Описание источника водных ресурсов. Характеристика предприятия по очистке воды.

На первом этапе следует оценить источник воды. Для производства питьевой воды источник должен соответствовать требованиям: СанПиН 1.2.3685-21 (РФ) [129]; ГОСТ 2761-84 (РФ) [130]; ГСТУ4808-2007 (Украина)[55].

Изучаются основные сведения о предприятии, которое осуществляет очистку воды, основные элементы производственной схемы очистки, технические возможности исследуемого предприятия.

Этап 2. Определение объемов производства воды.

Определение объемов производства выполняется с учетом двух направлений: источника водных ресурсов; предприятия, осуществляющего очистку воды.

Источник водных ресурсов может быть поверхностным и подземным. В зависимости от объемов источника, скорости питания делается соответствующее предположение об объемах воды, которые можно из него потреблять.

При проектировании и строительстве предприятия закладывается производственная мощность — это максимально возможный объем воды, очищенный за единицу времени (сутки или год), при полном использовании производственного оборудования, при применяемых методах организации производства, труда и управления.

На основе допустимых объемов забора воды с водного объекта мощностей предприятия и необходимых объемов потребления делается заключение о возможных объемах производства воды из определенного источника определенным предприятием.

Этап 3. Описание действующей схемы очистки воды включает схему очистки воды, оборудование и реагенты, которые при этом используются (согласно регламенту деятельности предприятия). Выбор методов и механизмов контроля над водоочисткой. Оценивается скорость реакции на изменение качества входящей воды. Устанавливаются особенности очистки воды в неблагоприятный период, сезонные изменения в производственном процессе предприятия.

Этап 4. Статистическая обработка данных технологического контроля[21,23].

При очистке воды все процессы контролируются и заносятся в оперативный журнал. Качество исходной и очищенной воды контролируется санитарными органами и производственной лабораторией, если таковая имеется. Процесс очистки воды до качества питьевой может быть разным в зависимости от качества исходной воды и схемы очистки на предприятии.

На основании данных непрерывных исследований технологических процессов очистки и качества исходной и очищенной воды строятся выборки по исследуемым показателям. Их статистическая обработка позволяет выделить закономерности изменения качества воды во времени (цикличность), корреляционные и регрессионные связи между компонентами исходной воды и промежуточными результатами очистки.

Этап 5. Недостатки схемы водоподготовки.

Во время ознакомления, анализа существующей технологической схемы очистки воды, статистической обработки технологических данных и данных о состоянии источника воды могут быть выявлены составляющие схемы производства, которые можно изменить для улучшения общего процесса очистки. Их выявление и ликвидация являются основной целью исследования производства.

Этап 6. Внесение изменений. Разработка инструкции.

Внесение изменений в схему очистки воды действующим предприятием осуществляется по нескольким причинам:

- рабочая схема устарела, известны новые методы очистки, использование которых улучшит процесс очистки. Есть финансовая возможность для модернизации;
- в действующей схеме очистки выявлены слабые места или нарушения, которые нуждаются в корректировке без существенных финансовых затрат;
- действующая схема очистки недостаточно эффективна.

Поиск решения необходим для повышения качества выпускаемого продукта и устранения систематических отклонений от нормы.

Для внесения изменений в действующую схему необходимо:

- проработать техническую документацию;
- провести ряд лабораторных экспериментов,
- выполнить моделирование новой схемы очистки.

Этап 7. Внедрение нововведений на практике и проверка их эффективности.

На этом заключительном этапе необходимо применить исследованные и разработанные ранее механизмы на действующем предприятии, провести контроль эффективности новой схемы очистки воды, оценить ее целесообразность, экологический и экономический эффект от использования.

Пошаговое выполнение данного алгоритма позволит оценить эффективность методов и способов очистки воды на действующем предприятии и внести корректировки для оптимизации производства и повышения экологической безопасности.

1.1 Оптимизация технологической схемы очистки воды окислительными методами из Исаковского водохранилища

5.2.1 Описание источника водных ресурсов. Характеристика предприятия по очистке воды

Забор воды из Исаковского водохранилища осуществляется через окна водозаборной башни по двум трубам диаметром 700 мм, сифонным водозабором диаметром 1000 мм на глубине 7-9м.

Основным пользователем водохранилища является ООО "ЮГМК". На базе Исаковского водохранилища действует участок по производству питьевой воды. После обработки воды на участке потребителям подается вода питьевого качества.

Производство воды осуществляется по технологии деминерализации исходной воды с использованием баромембранных (наночисточных) машин и обеззараживание воды гипохлоритом натрия и ультрафиолетовым излучением.

На предприятии реализована пятиступенчатая технологическая схема очистки поверхностных вод в сочетании с двухступенчатым обеззараживанием, что позволяет подавать потребителям питьевую воду высокого качества в соответствии с требованиями.

5.2.2 Определение объемов производства воды

Источники наполнения Исаковского водохранилища — р. Белая, талые и дождевые воды. Забор воды организован таким образом, чтобы не ощущалось дефицита воды в водоеме, уровень воды не снижался ниже предела.

За период наблюдения уровень водохранилища колеблется в районе 110 ± 1 м над уровнем моря. Минимальный уровень воды составлял 107,3 м (2020 год, причиной являлась аномальная засуха и прекращение откачки шахтных вод).

Водопользователями водохранилища являются отдыхающие, рыбаки, спортсмены, дачники.

Основное условие использования водохранилища: "приток превышает забор воды". В 2020 году по причине засухи и прекращения откачки шахтных вод в реку Белую наблюдалось снижение уровня водохранилища почти на 3 метра. Для минимизации экологического ущерба ООО «ЮГМК» для технических нужд использовало воду из других водных объектов.

Садовым обществам вода подается с апреля по октябрь без предварительной обработки.

Коммунальное предприятие АлчевскТепло филиал ГУП ЛНР «Луганскгаз» самостоятельно обрабатывает воду из водохранилища для достижения необходимых показателей (снижение жесткости и уменьшение содержания взвешенных веществ). Остальные параметры не влияют на работу основных агрегатов.

Из Исаковского водохранилища на площадку металлургического производства вода подается насосной станцией по трубопроводу диаметром 700 мм ЦВП в Школьный пруд

емкостью 170 тыс. м³, расположенный вблизи предприятия, откуда насосной станцией подается потребителям. На коксохимическое производство вода подается от Исаковской насосной станции ЦВП по водоводу диаметром 500 мм в резервуары свежетехнической воды.

Питьевая вода на хозяйственно-питьевые цели подается на площадку металлургического и коксохимического производств из сетей ЦВП после водоподготовки на участке питьевой воды.

Техническое водоснабжение производственных объектов ООО «ЮГМК» осуществляется через оборотные системы. Оборотные циклы водоснабжения подразделяются на системы «условно-чистых» вод и «грязных» вод. В «условно-чистой системе» происходит нагрев оборотной воды через поверхности теплообмена без контакта с охлаждаемой средой, отвод тепла осуществляется на градирнях. В системах «грязных» вод кроме нагрева воды происходит ее загрязнение при непосредственном контакте с охлаждаемой средой — оборудованием, продукцией. Кроме охлаждения в этих циклах производится очистка оборотной воды в отстойниках, фильтрах и др. Восполнение потерь в оборотных системах «условно-чистых» вод осуществляется свежетехнической водой, для компенсации потерь в оборотных циклах «грязных» вод используются продувочные воды оборотных циклов «условно-чистых» вод.

Альтернативой воде Исаковского водохранилища является вода из Верхне-Орловского водохранилища. Химический состав альтернативных источников намного хуже (сухой остаток выше 2000 мг/дм³, сульфаты выше 700 мг/дм³, ОКБ выше 20000 КОЕ/100см³ летом).

Самым сложным и ответственным из направлений использования воды Исаковского водохранилища является производство питьевой воды.

В зависимости от исходного качества воды предприятие, осуществляющее данное производство, регулирует реагентное и техническое хозяйство. В таблице 5.1 представлены результаты анализов воды водоемов, отобранные в зимний период.

Таблица 5.1 – Результаты анализов проб воды водоемов

Наименование показателя	Исаковское водохранилище	Верхне-Орловское водохранилище
1	2	3
Цветность, град цветности	35,6	67,6
pH, ед pH	8,29	8,24
Ионы аммония, мг/дм ³	0,158	1,1

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3
Нитрит ионы, мг/дм ³	0,032	0,274
Нитрат ионы, мг/дм ³	1,33	4,4
Ионы железа, мг/дм ³	0,025	0,162
Сухой остаток, мг/дм ³	1244	1893
Сульфаты, мг/дм ³	633,7	716
Общая жесткость, град.жесткости	9,1	14
Растворенный кислород, мг/дм ³	8,32	6,0
Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	3,92	6,46
БПК ₅ , мг/дм ³	1,58	4
Обобщенные колиформы, КОЕ/100см ³	50	90

Сезонные изменения качества воды для данного вида деятельности очень существенны. Согласно ГСТУ 4808-2007, а также расчетам, выполненным в 4 разделе, в летний период вода соответствует 3-4 классу (ГСТУ 4808-2007) или 3 классу (ГОСТ 2761-84), а в холодное время года 1-2 классу качества воды, как поверхностного источника водоснабжения. Степень и интенсивность очистки определяется в зависимости от класса качества воды.

5.2.3 Описание действующей технологической схемы очистки воды в ЦВП ООО «ЮГМК»

Предприятие производит питьевую воду из воды Исаковского водохранилища. Схема технологии очистки воды описана ниже

1. Входная вода поступает на сетчатые фильтры для очистки от взвесей и водорослей.
2. После сетчатых фильтров в воду дозируются гипохлорит натрия, коагулянт и флокулянт (1). Вода с реагентами поступает в контактную емкость, затем через перелив (2) в регулируемую емкость. Время пребывания в емкостях рассчитано для достаточного контакта воды с реагентами (1-1,5 часа).
3. С регулируемой емкости вода поступает на первую ступень скорых механических фильтров, где происходит процесс удаления из воды мелкодисперсных и коллоидных загрязнений.

4. После фильтров первой ступени вода поступает на скорые механические фильтры второй ступени.

5. В периоды повышенной эпидемиологической опасности очищенная вода после фильтров второй ступени проходит вторичную дезинфекцию на УФ-установке (УФ), что позволяет повысить её бактериальную безопасность.

6. Для связывания остаточного хлора перед подачей на нанофильтрационные машины в воду дозируется раствор метабисульфита натрия, а затем подаётся раствор антискаланта, для предотвращения минеральных образований на поверхности мембранных элементов (3).

7. Осветлённая и химически подготовленная вода поступает в нанофильтрационные машины.

8. Очищенная вода вторично обрабатывается гипохлоритом натрия и направляется в РЧВ для экспозиции и накопления.

9. Из ёмкости (РЧВ), насосами по трубопроводу транспортируется в резервуар северный и далее в распределительные сети АМК (Рисунок 5.4).

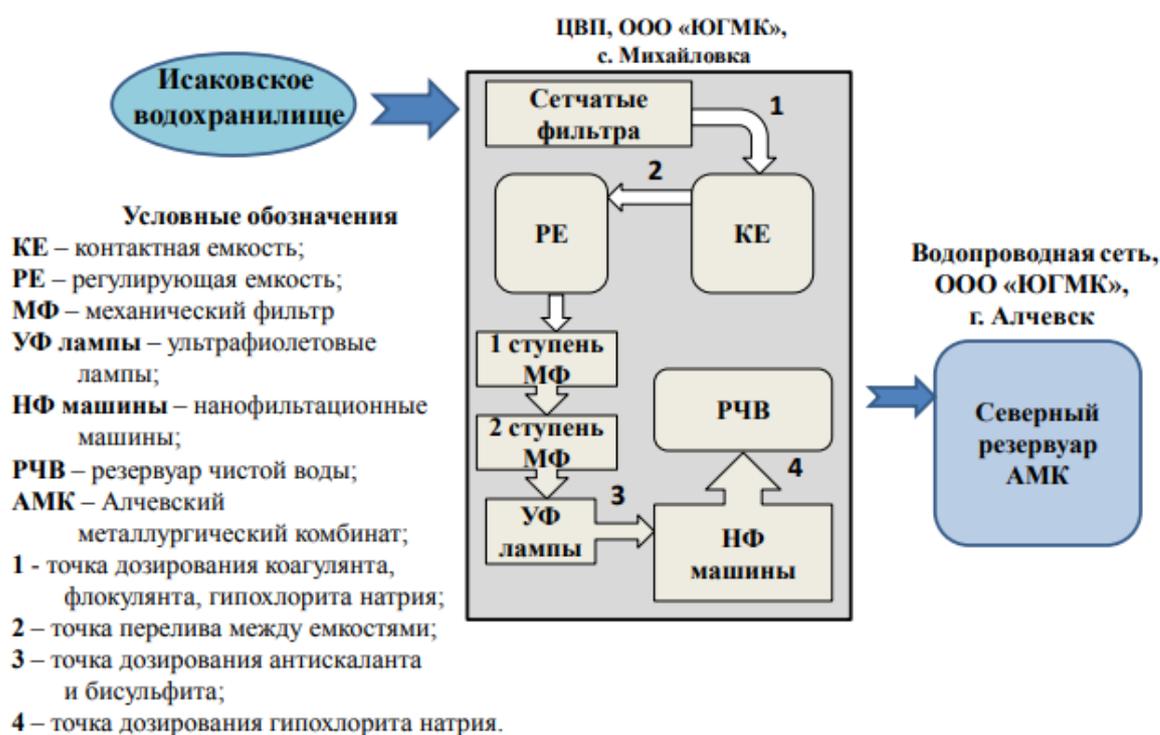


Рисунок 5.4 – Схема очистки воды в ЦВП ООО «ЮГМК»

Контроль за технологическим процессом очистки воды ведется по датчикам, контроль качества воды определяется химико-бактериологической лабораторией. Корректирование дозы реагентов происходит по результатам исследований ХБЛ.

5.2.4 Реагентная обработка воды

Коагулянты — это реагенты, которые склеивают коллоидные частицы в хлопья. Такие хлопья уже достаточно крупные и тяжёлые, поэтому воду после коагуляции можно очистить механическими способами. Коллоиды, теряющие свой заряд, при столкновении не отталкиваются друг от друга, а объединяются в группы и выпадают в осадок — коагулят.

Эффективность коагуляции и осветления вырастает в разы с помощью флокулянта, их добавляют в жидкость после коагулянтов, чтобы укрупнить и уплотнить осадок, который получился в результате коагуляции.

Флокуляция — это вид коагуляции. Она тоже объединяет мелкие взвешенные частицы в группы и образует осадок, но между этими процессами есть отличия.

Коагулянты снимают с частиц заряд, и они уже могут сталкиваться друг с другом и образовывать группы. Флокулянты соединяют эти группы полимерными мостиками.

Флокулянты усиливают эффект от коагулянтов: ускоряют отделение примесей от воды, формируют более крупный и плотный осадок, экономят расход коагулянтов. Они продлевают срок эксплуатации фильтров и помогают станциям водоочистки обрабатывать больше жидкости. Единственный минус коагуляции и флокуляции — использование реагентов.

Хлорирование исходной воды используется для окисления легкоокисляемых органических и минеральных веществ (железа, марганца, сероводорода и др.) а также для дезинфекции. Третьим реагентом, который дозируется в исходную воду (точка 1) является гипохлорит натрия. При водоочистке применяют метод пропорционального дозирования водного раствора гипохлорита натрия.

В воде гипохлорит натрия мгновенно диссоциирует на хлорноватистую кислоту и гидроксид натрия (поднимается pH).



В свою очередь хлорноватистая кислота диссоциирует в воде на ион водород и гипохлорит-ион:



Хлор представленный в форме хлорноватистой кислоты, гипохлорит-ионов, или элементарного хлора – называется свободным активным хлором (АХ), выраженным в виде мг/л Cl_2 .

При введении гипохлорита натрия в воду часть хлора реагирует с аммиачным азотом, образуя хлорамины:



Эти соединения хлора и аммиака называются связанным активным хлором. Сумма свободного АХ и связанного АХ называется общим остаточным хлором:

$$\text{Общий остаточный хлор} = \text{Свободный АХ} + \text{Связанный АХ}. \quad (5.6)$$

Эффективность свободного остаточного хлора напрямую связана с концентрацией недиссоциированной хлорноватистой кислоты HOCl . Хлорноватистая кислота в 100 раз эффективнее гипохлорит-иона OCl^- . Доля недиссоциированного HOCl увеличивается с уменьшением рН.

Эти реакции регулируются соотношением рН и концентрации хлора к концентрации азота. Хлорамин также обладает бактерицидным эффектом, хотя и более низким, чем хлор.

Оставшаяся часть хлора преобразуется в недоступный хлор. Хлор реагирует с восстановителями, такими как нитрит, сульфид, железо и марганец. Хлор также потребляется при окислении органических соединений, присутствующих в воде.

При взаимодействии с растворенным железом, марганцем, сероводородом и органическими веществами гипохлорит легко отдает атом кислорода.

Реакция окисления двухвалентного железа гипохлоритом натрия протекает согласно уравнению (5.7):



В результате реакции выделяется диоксид углерода, а нерастворимый гидроксид железа задерживается при последующем фильтровании.

Подобным образом проходят реакции окисления и других компонентов.

Метод пропорционального дозирования гипохлорита весьма эффективен для предварительного окисления веществ в воде.

Схема определения хлорпотребности при использовании окисления хлорсодержащими на входе очистки воды представлена на рисунке 5.5.

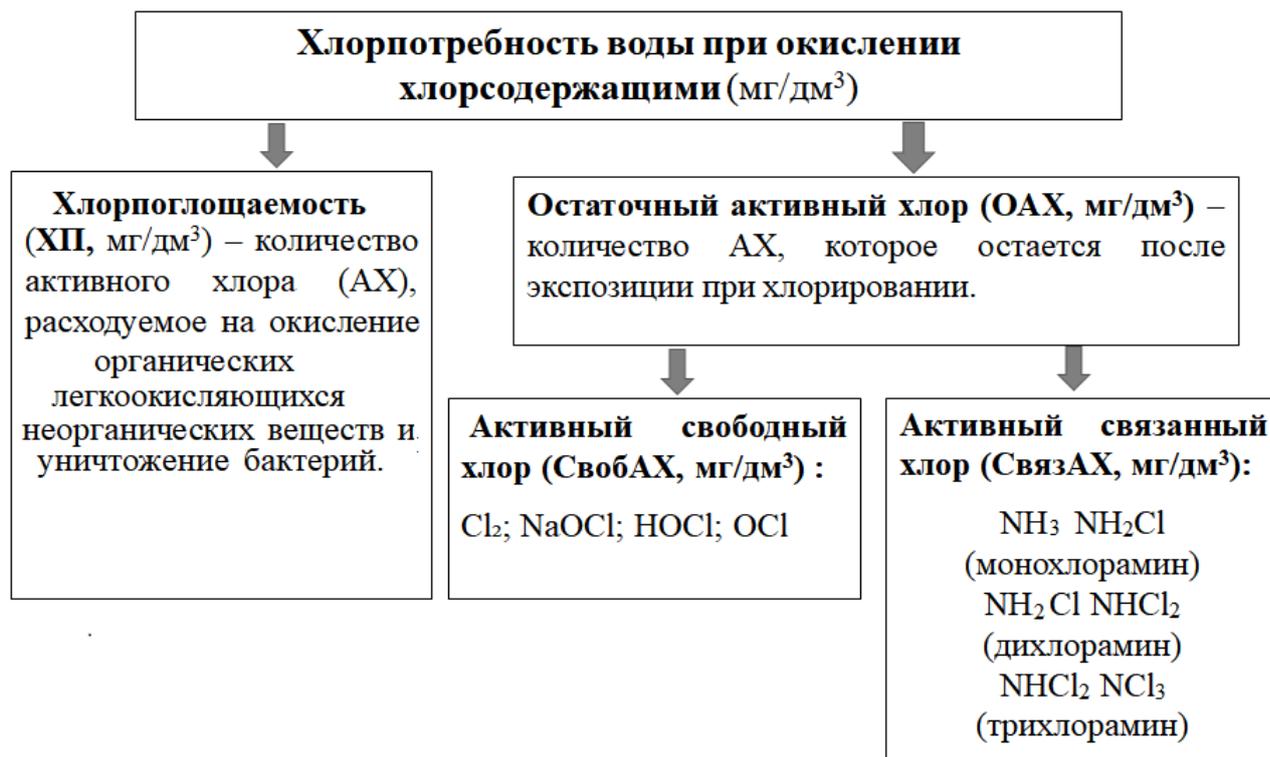


Рисунок 5.5 – Хлорпотребность воды при окислении хлорсодержащими соединениями

При водоочистке для расчета теоретической дозы хлора, необходимой для окисления загрязняющих веществ и дезинфекции, можно использовать нормативные количества хлора.

Данные по рекомендуемым дозам хлора, необходимым для окисления веществ в воде, взяты из Приложения 4 СП 32.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Рекомендуемые дозы активного хлора для окисления и обеззараживания при водоподготовке

Растворенное вещество 1 мг/дм ³	Количество активного хлора, мг/дм ³
1	2
Дезинфекция	0,5

Продолжение таблицы 5.2

1	2
Железо двухвалентное $2 \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$	0,67
Марганец двухвалентный Mn^{2+}	1,3
Сероводород H_2S	2,1
Органические вещества при ПМО	
4-8	4
8-10	4-8

Для уточнения и корректировки дозы хлора на месте выполняются пробные хлорирования.

При обработке питьевой воды обычно оставляют ООХ около $0,5 \text{ мг/дм}^3$, чтобы избежать бактериологического загрязнения воды по пути от сооружений очистки к крану потребителя.

В промышленной очистке воды, чтобы избежать микробиологического загрязнения последующих этапов очистки (фильтров МФ, нанофильтрационных машин NF) увеличивают концентрацию свободного остаточного хлора с $0,5 \text{ мг/дм}^3$ до $0,8-1,2 \text{ мг/дм}^3$, иногда выше, в зависимости от состава поступающей воды, ХП на последующих этапах очистки.

Целью вторичного хлорирования является обеззараживание воды, обеспечение концентрации свободного АХ или связанного АХ на пути от РЧВ к потребителю. Экспозиция воды в РЧВ не менее 30 мин.

Для предотвращения окисления мембраны (обратноосмотических RO или нанофильтрационных NF) исходная вода должна быть дехлорированная.

Бисульфит натрия обычно используется для удаления свободного хлора и в качестве биостатического вещества, т.е. останавливающего размножение бактерий.

Кроме бисульфита в воду перед НФ машинами дозируется антискалант.

Антискалант — это химический реагент против отложений, смесь органических фосфатов и низкомолекулярных полимеров с высоким диспергирующим эффектом. Антискалант непрерывно подается в воду перед обратным осмосом и тормозит осадкообразование благодаря своему свойству присоединяться к разрастающейся соленой решетке. Реагентная база очистки воды существенно повышает эффективность оборудования, играет важную роль в экологической безопасности водоподготовки.

5.2.5 Недостатки схемы водоподготовки

При подготовке массивов и первичной статистической обработке результатов исследований проб исходной воды и данных технологического контроля за 2014-2019 годы, результатов jar-test подбора реагентов были выявлены следующие недостатки:

1. При одномоментном впрыске коагулянта, флокулянта и гипохлорита натрия в т.1 высокий расход окислителя. Снижение расхода хлора возможно при разделении точек впрыска гипохлорита натрия и коагулянта с флокулянтом.

2. При ориентировании на результаты предыдущих исследований проб по технологическим точкам не учитываются суточные колебания ХП, связанные с колебаниями окислительно-восстановительных процессов в воде водохранилища. Обслуживающий персонал в состоянии определить только результат хлорирования. При этом задержка оперативных переключений может составить 2-4 часа. Необходимо составить статистические зависимости ХП от показателей качества воды, которые легко и оперативно определяются в течение нескольких минут.

3. При дозировании бисульфита не учитывается фактическое содержание остаточного хлора в воде после второй ступени. Это приводит к переизбытку бисульфита в случае низкого содержания активного хлора либо же нехватке в случае чрезмерного дозирования гипохлорита натрия на первом этапе.

5.2.6 Результаты статистической обработка данных технологического контроля.

Разработка рекомендаций

Разработка рекомендации №1

Для определения эффективной дозы реагентов коагулянта, флокулянта и гипохлорита натрия на первом этапе водоочистки в цехе водоподготовки ООО «ЮГМК» проводят jar-тест.

Суть jar-теста: в химические стаканы объемом 1 дм³ с исходной водой дозируется коагулянт (одной концентрации), флокулянт (разных концентраций) и гипохлорит натрия (такое количество, чтобы после экспозиции оставалось 0,8–1,2 мг/дм³ активного хлора). Было проведено 2 теста, которые отличаются тем, что в первом случае гипохлорит натрия добавлялся до перемешивания (таблица 5.3), при повторном проведении теста гипохлорит натрия дозировался после 30 мин перемешивания (таблица 5.4).

Таблица 5.3 — Сводная таблица № 1 результатов жаг-теста 05.01.2019

1. Начало теста, параметры исходной воды		2. Дозирование реагентов в исходную воду, мг/дм ³					3. Промежуточные результаты после 30 мин перемешивания				4. Конечные результаты тестирования после отстаивания 30 мин.						
Цветность, град цветн	31	Коагулянт АТЕ 1102Р		1,2			Цветность, град цветн	13	13	13	13	Цветность, град цветн	13	11	11	11	
Мутность, град мутн.	1,15	Флокулянт АТЕ 890		0,1	0,2	0,3	0,5	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,1	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,08
Остат. хлор, мг/дм ³	-	Гипохлорит натрия		3,4			Остаточный хлор	2	2	2	2	Остат. хлор, мг/дм ³	0,75	0,78	0,78	0,82	
ХП, мг/дм ³	-					ХП, мг/дм ³	1,4				ХП, мг/дм ³	1,25	1,22	1,22	1,18		

Таблица 5. 4— Сводная таблица № 2 результатов жаг-теста 05.01.2019 с отдельным дозированием реагентов

1. Начало теста, параметры исходной воды		2. Дозирование реагентов в исходную воду, мг/дм ³					3. Промежуточные результаты после 30 мин перемешивания				4. Конечные результаты тестирования после отстаивания 30 мин.						
Цветность, град цветн	31	Коагулянт АТЕ 1102Р		1,2			Цветность, град цветн	13	13	13	13	Цветность, град цветн	13	11	11	11	
Мутность, град мутн.	1,15	Флокулянт АТЕ 890		0,1	0,2	0,3	0,5	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,1	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,08
Остат. хлор, мг/дм ³	-	Гипохлорит натрия		-			Дозирование гипохлорита натрия	3	3	3	3	Остат. хлор, мг/дм ³	1	1,05	1,05	1,15	
ХП, мг/дм ³	-					ХП, мг/дм ³					ХП, мг/дм ³	2	1,95	1,95	1,85		

Из таблицы 8 следует вывод, что суммарное ХП в пробе составляет 2,58–2,65 мг/дм³ активного хлора в зимний период. По второму тесту суммарное ХП в пробе воды составило 1,85–2,0 мг/дм³ воды. Разница составляет почти 25 % в зимний период. В летний период, когда ХП на производстве варьируется от 3 до 6 мг/дм³, экономия может составлять 25–30 %.

Таким образом, рекомендуется разделить точки дозирования реагентов в цехе водоподготовки: т. 1 — коагулянт и флокулянт; т. 2 — гипохлорит натрия в точку перелива (Рисунок 11). Временной интервал между ними составляет 45 мин — 1 час, что позволит в КЕ сгруппировать взвешенные вещества исходной воды в инертные флокулы, на которые не будет расходоваться активный хлор.

Разработка рекомендации 2

В ходе работы все данные по технологии очистки за 2014-2022 год собраны, оцифрованы и систематизированы. Теснота связей между исследуемыми компонентами воды определена с помощью корреляционных связей. С помощью программы Excel составлена корреляционная матрица (Приложение Д) компонентов воды.

Основное внимание при исследовании направлено на окислительный процесс в КЕ и РЕ. В водоеме сильным природным окислителем является растворенный кислород. В главе 4 детально описана динамика изменения содержания РК в воде по глубинам, в месте основного забора воды в течение года и в течение суток [23].

При очистке воды используется гипохлорит натрия. Активный хлор является искусственным окислителем воды Исаковского водохранилища, которая поступает в ЦВП на очистку.

На рисунке 5.6 представлена связь между ХП и содержанием РК. Чем меньше РК содержится в воде, тем больше будет ХП.

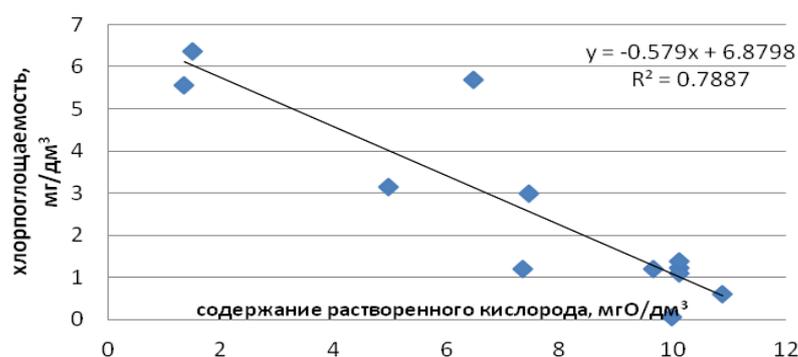


Рисунок 5.6 – Зависимость ХП от РК при водоподготовке в 2014 году [23]

Также это предположение подтверждается на рисунке 5.7

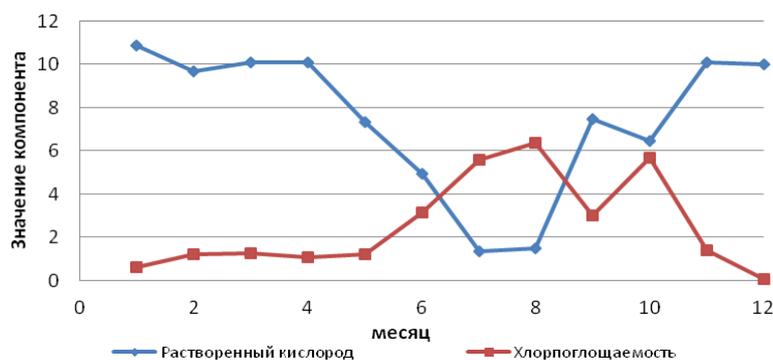


Рисунок 5.7 – Значения ХП и РК в течение 2014 года [23]

За то время, пока вода с реагентами проходит через обе емкости, часть активного хлора вступает в реакцию с восстановителями.

Хлорпоглощаемость ХП — количество активного хлора, которое затрачивается на окисление органических и минеральных веществ при водоподготовке.

На графике 5.8 представлена динамика изменения ХП 38 воды в течение года за 2014-2019 годы на этапе очистки КЕ_РЕ. В таблице 5.5 представлены основные статистические характеристики выборок ХП.

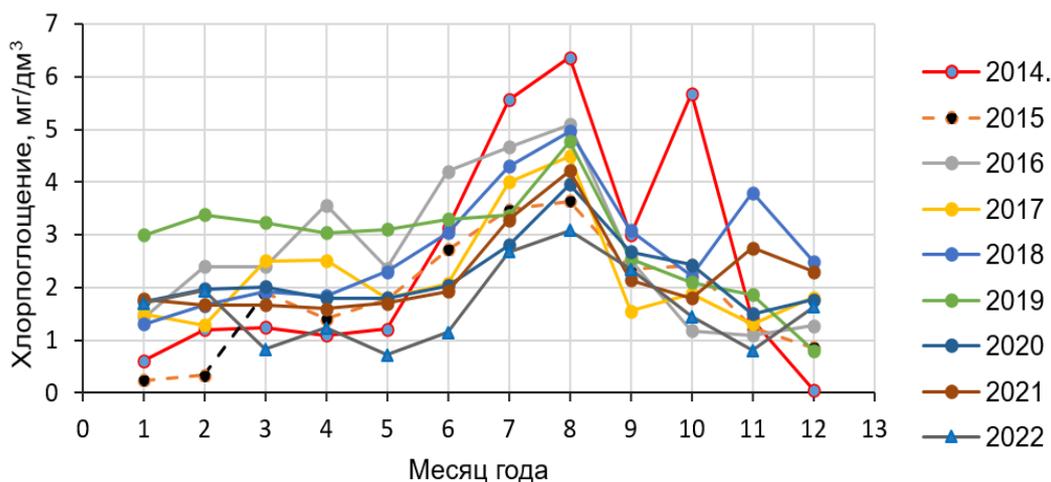


Рисунок 5.8 – Динамика изменения ХП по месяцам, 2014-2022 гг.

Таблица 5.5– Основные статистические характеристики

Параметры	X38
1	2
Выборочное среднее	2,33± 0.12
Минимальное значение	0,05
Максимальное	6,36
СКО	1,22
Медиана	2,02
Мода	1,80
Коэффициент асимметрии	0,94
Экцесс	0,88
Коэффициент вариации	52,27
Точность определения средней, %	5,11

По имеющимся в базе данным за 2014–2022 гг. были построены модели двух типов с выходным показателем ХП:

1. Модель временного ряда ХП по методу сезонной декомпозиции. Сезонная компонента варьируется от $-0,84$ до $2,24$ мг/дм³. Тренд слабо выражен. Несмотря на четкую

цикличность максимальных пиков ряда ХП, которые наблюдаются в августе каждого года, аддитивная модель сезонной декомпозиции в данном случае не работает.

2. Регрессионные модели.

Согласно корреляционному анализу на ХП влияют 9 показателей качества исходной воды и температура воды на глубине забора. Для практического применения необходимо использовать уравнения с входными переменными, определение которых занимает минимальное время или может осуществляться в автоматическом режиме.

Построены регрессионные модели X (по месячным данным, уравнение (5.8)), Z (по усредненным помесечно суточным данным, уравнение (5.9)) и интегрированная авторегрессионная модель AP с сезонностью $S=365$ по суточным данным (уравнение (5.11)). Адекватность моделей установлена по критерию Фишера. Значимость параметров регрессии проверена по критерию Стьюдента.

$$XП^x = 17,6647 + 0,0474 \cdot X3 + 0,0229 \cdot X5 - 2,0808 \cdot X7 - 0,1545 \cdot X22, \quad (5.8)$$

где коэффициент корреляции $R=0,72$; СКО остатков — $0,87 \text{ мг/дм}^3$.

$$XП^z = 10,5093 + 0,09199 \cdot Z3 + 0,01698 \cdot Z5 - 1,27681 \cdot Z7 + 5,88243 \cdot Z12, \quad (5.9)$$

где коэффициент корреляции $R=0,70$; СКО остатков — $1,02 \text{ мг/дм}^3$.

Поскольку для практического использование моделей ХП требуется прогноз по суточным данным, а построенные зависимости (5.8) и (5.9) относятся к месячным данным, в работе был применен комбинированный подход, который использует накопленные ранее статистические суточные данные не менее чем за 2 года и полученную регрессионную зависимость (5.9). Для посуточных данных составляется ряд из разностей между текущим значением $XП_t$ в момент t и вычисленным $XП^z$ по формуле (5.9):

$$e_t = XП_t - XП_t^z. \quad (5.10)$$

Для создания модели с сезонностью $S=365$ дней использовалась формула авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего вида [117] с параметрами φ_1 и Φ_1 :

$$e_t = e_{t-1} + \varphi_1(e_{t-1} - e_{t-2}) + \Phi_1(e_{t-365} - e_{t-366}) - \varphi_1\Phi_1(e_{t-366} - e_{t-367}) + \varepsilon_t, \quad (5.11)$$

где величины e_{t-k} — соответствуют смещенным членам ряда e_t на k шагов назад; ε_t — белый шум.

Посуточное прогнозирование осуществляется поэтапно следующим образом:

1. *Подготовительный этап* — вывод формулы для прогноза ХП. На основе накопленных ранее статистических данных и расчетов по формулам (5.9) и (5.10) строится временной ряд $\{e_t\}$. Затем с помощью программы Statistica определяются параметры φ_1 и Φ_1 уравнения (5.11). В данной работе в качестве базы для определения параметров модели был выбран период с 01.02.2014 по 31.01.2016. В результате расчета и с учетом соотношения (5.10) получено следующее уравнение для прогноза ХП в момент времени t :

$$\text{ХП}_t = \text{ХП}_t^z + e_{t-1} - 0,233(e_{t-1} - e_{t-2}) + 0,04(e_{t-365} - e_{t-366}) + 0,0093(e_{t-366} - e_{t-367}). \quad (5.12)$$

2. В начале каждого нового дня t после измерения текущих значений показателей качества воды Z3, Z5, Z7, Z12 по формуле (5.9) вычисляется значение ХП_t^z , которое нами принимается как значение тренда при текущих показателях группы Z.

3. По формуле (5.12) вычисляется прогнозное значение хлорпоглощаемости ХП_t и выполняется корректировка дозы реагента для обеззараживания воды.

Параметры модели (5.12) далее могут корректироваться по мере накопления ошибки прогноза. Проверка модели на ретроспективных данных показала среднюю относительную погрешность модели 4,9 % с горизонтом прогноза 24 дня, после чего параметры модели были пересчитаны с учетом полученных новых фактических данных:

$$\text{ХП}_t = \text{ХП}_t^z + e_{t-1} - 0,244(e_{t-1} - e_{t-2}) + 0,051(e_{t-365} - e_{t-366}) + 0,0124(e_{t-366} - e_{t-367}). \quad (5.13)$$

Вклад множественной регрессии в общее значение ХП составляет в среднем 49 %, авторегрессионной модели — 50 %. На рисунке 5.9 синим цветом отмечен график фактических значений хлорпоглощаемости, красным цветом показаны прогнозные точки. Начало прогноза $t = 731$ соответствует дате 01.02.2016.

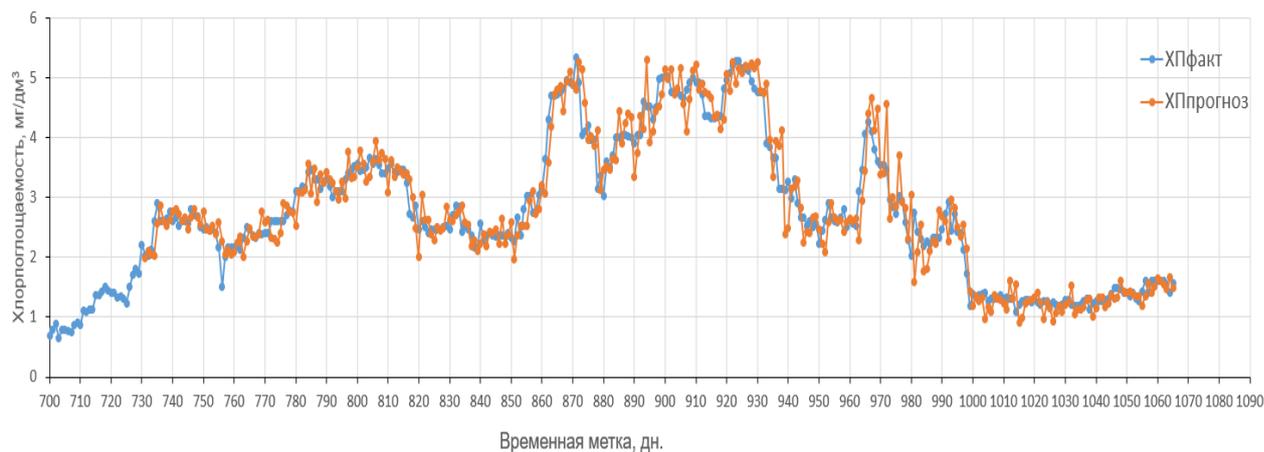


Рисунок 5.9 — Графики фактических и прогнозных значений показателей хлорпоглощаемости воды Исаковского водохранилища

Для определения Z3 (температура воды), Z5 (цветность), Z7 (рН) и Z12 (содержание железа в воде) требуется менее 15 мин, благодаря чему существует возможность автоматизировать определение перечисленных показателей, спрогнозировать хлорпоглощение исходной воды и скорректировать дозу гипохлорита натрия, который дозируется на первом этапе очистки.

При прогнозировании дозирования хлора следует учитывать как сезонные, так и суточные колебания ХП. На рисунке 5.10 представлена динамика изменения ХП и РК в течение суток относительно показания в 12 часов дня. Изменчивость ХП в течение суток составляет 20–25 %. В период с 21 часа до 5 часов утра наблюдается повышение ХП, что следует регулировать повышением дозы гипохлорита натрия.



Рисунок 5.10 — Динамика изменения хлорпоглощаемости в течение суток

При реализации в цехе водоподготовки рассмотренных выше предложений достигаются следующие экономический и экологический эффекты:

1. Разделение точек дозирования реагентов приведет к снижению ХП, соответственно, к снижению расхода гипохлорита натрия до 25 %, и, следовательно, снижению вероятности образования хлороформа и хлораминов в питьевой воде.

2. Использование уравнений позволит точнее подбирать дозу гипохлорита натрия, что исключит периоды с дефицитом или же избытком активного хлора по схеме водоочистки.

3. Учет суточных колебаний хлорпоглощения минимизирует опасность недостатка дозы хлора в ночное время.

4. В целом корректная доза хлора при водоподготовке обеспечит достаточную стерильность по этапам очистки и минимизирует вероятность образования хлораминов и хлороформа в очищенной «питьевой» воде.

5. Установка автоматических датчиков определения остаточного активного хлора позволит дозировать бисульфит корректно. Таким образом, не будет превышений сульфатов в очищенной обратным осмосом воде и воде по линии байпасирования.

5.3 Вывод по главе 5

1. Очистка воды поверхностных вод региона требует современных технологий. При очистке воды следует учитывать изменение отдельных показателей качества и взаимосвязи между показателями. Очень важно при заборе воды из водоемов руководствоваться в первую очередь сохранением баланса между притоком и извлечением воды для предотвращения отрицательных отметок в уровне воды. Разработанная методика оценки технологии водоподготовки применима к любому предприятию, которое осуществляет забор воды из водного объекта, выполняет водоподготовку и транспортирует ее к потенциальным потребителям.

2. Существующая технология очистки воды Исаковского водохранилища ООО «ЮГМК» справляется с загрязнением и производит воду требуемого качества. Однако, с точки зрения экологической безопасности, в существующей схеме выявлены значительные недостатки, которые предложено исправить применением разработанной в работе методики.

3. Разработанные предложения для цеха водоподготовки ООО «ЮГМК» могут дать ощутимый результат, экономя гипохлорит натрия (экономический эффект), тем самым снижая вероятность появления хлораминов и хлороформа в очищенной воде (экологический

эффект). Кроме этого, используя полученные уравнения зависимости ХП от цветности, температуры, рН и содержания ионов железа в воде, можно в автоматическом режиме корректировать дозу гипохлорита натрия, не дожидаясь фактических результатов лаборатории. Учет выявленных суточных колебаний ХП также позволяет стабилизировать технологическую эффективность реагентной обработки воды.

4. Сезонные и суточные колебания качества воды, а также окислительно-восстановительного потенциал воды, выявленный во время выполнения научных и практических исследований, должны учитываться непосредственно во время очистки воды из поверхностных источников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. В диссертационной работе решена задача построения системы оценки экологического состояния водоемов ЛНР с учетом их целевого назначения, особенностей функционирования и рационального использования.

2. Разработана методика исследования водоемов как объектов для рекреации и отдыха на основе множества показателей качества воды и экспертных оценок рекреационных зон. Предложена система оценок водоемов рекреационного назначения, включающая блок индикаторов качества их вод (показатели самоочищения воды, физико-биологические, микробиологические, гидробиологические показатели), блок индикаторов удобства и безопасности отдыха, интегральные оценки по каждому блоку и комплексную оценку водоемов как объектов рекреации. Для интерпретации комплексной оценки водоемов рекреационного назначения введена матрица оценок с унифицированной шкалой градаций.

3. Выполнен корреляционный анализ взаимосвязи 28 показателей качества воды Исаковского водохранилища, установлены значимые связи, отобраны группы независимых друг от друга показателей для построения регрессионных зависимостей. Для растворенного кислорода выявлено падение концентраций с глубиной, особенно данная тенденция заметна для летнего периода. Исследован суточный ход изменения содержания растворенного кислорода.

4. Разработаны математические модели динамики изменения показателей качества поверхностных вод водоемов, основанные на методах автокорреляционного анализа и сезонной декомпозиции. Для показателей Исаковского водохранилища построены уравнения аддитивных моделей показателей, содержащие тренды и сезонные компоненты. Установлено, что концентрация растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода описываются адекватными статистическими моделями с 12-месячной цикличностью и возрастающим трендом для растворенного кислорода.

5. Разработаны математические регрессионные модели множественной линейной регрессии зависимостей концентрации растворенного кислорода, биохимического потребления воды и индекса самоочищения от физико-химических, микробиологических и гидробиологических показателей качества воды.

6. Впервые установлены математические зависимости технологических показателей при производстве воды из поверхностных вод водохранилища от показателей качества исходной воды, забираемой из водоема, и прочих показателей, характеризующих условия использования поверхностных вод водоема. Полученные уравнения позволяют

корректировать дозу гипохлорита натрия в режиме реального времени. Внесение поправок на суточные колебания хлорпоглощаемости позволяют снизить риск недостаточной или избыточной дозировки гипохлорита натрия при прочих неизменных условиях.

7. Разработана методика оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке и предложены рекомендации по водоочистке для повышения экологической безопасности использования водных объектов. Результаты математического моделирования динамики изменения количества хлорсодержащих компонентов при водоочистке в зависимости от качества исходной воды реализованы в цехе водоподготовки ООО «ЮГМК».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абакумов, В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 239 с.
2. Абрам, З.Е. Ошибки в эксплуатации водопроводов и канализаций: Учебное пособие. — Л.: Стройиздат, 1972. — 118 с.
3. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1974— 127 с.
4. Авакян, А.Б. Водохранилище. — М.: Мысль, 1987. — 331 с.
5. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды: Учебник. — 3-е изд., перераб и доп. — М.: ИНФРА-М, 2004. — 154 с.
6. Алиева, Р.М., Илялетдинов, А.Н. Реализация экологического принципа в микробиологической очистке промышленных сточных вод // Изв. АН СССР. — Алма-Ата: Гылым, 1986. — 517 с.
7. Анциферова, Г. А., Кульнев, В. В., Шевырев, С. Л., Биломар, Е. Е., Межова, Л.А., Русова, Н.И., Хотак, М.Ю. Геоэкологическая оценка состояния искусственных водоемов зоны влияния металлургических предприятий // Известия Саратовского университета Нов.сер. — Саратов: Науки о Земле, 2022. — 50 с.
8. Артемова, Т. З. К вопросу о санитарно-бактериологической оценке качества воды открытых водоемов — М.: Гигиена и санитария, 1971—80с.
9. Бакуменко, Ю.С., Геоэкологическая оценка водоемов ЛНР с учетом фактического использования // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов по материалам всероссийской научно практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (15-17 февраля 2024 г.). — Антрацит: АИГиТ (филиал) "ЛГУ им. В. Даля", 2024. — 259 с.
10. Бакуменко, Ю.С., Hydrochemical dynamics of the Isakovsky /Ю.С. Бакуменко, Е.Г. Ларина, О.М. Розенталь//В сборнике: International Scientific and Practical Conference “From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex” (IDSISA 2024). Les Ulis, 2024.. 14001 с.
11. Бакуменко, Ю.С., Зависимость хлорпоглощения воды при водоподготовке от качества исходной воды и сезона года / Ю.С. Бакуменко// Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX

Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). – Том 2: Физические, химические, технические и компьютерные науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – С. 25-27

12. Бакуменко, Ю. С., Оценка качества вод Исаковского водохранилища как альтернативного источника водоснабжения населения / Ю.С. Бакуменко, Л.Е. Подлипенская // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 4-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 22–25 мая 2018 года. Том 4. — Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2018. — 220 с.

13. Бакуменко, Ю.С. Современное состояние и тенденции изменения качества поверхностных вод Исаковского водохранилища/магистерская работа — Алчевск.: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019—91 с.

14. Бакуменко, Ю.С., Подлипенская, Л.Е. Исследование процессов самоочищения водоемов // Планета – наш дом: Сб. материалов XII Междунар. молодёжной научной конференции / Под общ. ред. В.А. Козачишена. — Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — 142 с.

15. Бакуменко, Ю.С. Методика оценки рекреационного потенциала водоемов / Ю.С. Бакуменко, Л.Е. Подлипенская, М.Б. Шилин // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 2. – С. 13-20. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-2-13-20. – EDN BUUART.

16. Бакуменко, Ю.С., Подлипенская, Л. Е. Оценка качества поверхностных вод водоемов по индексу сапробности //Планета – наш дом: Сб. материалов XIII Междунар. молодёжной научной конференции / Под общ.ред. В.А. Козачишена —Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. —130 с.

17. Бакуменко, Ю.С. Статистический подход к оценке динамических изменений качества воды / Ю.С. Бакуменко, М.Б. Шилин // Естественные и технические науки. – 2023. – № 9(184). – С. 59-66. – EDN XHDWDI.

18. Бакуменко, Ю.С., Статистический анализ показателей качества вод Исаковского водохранилища как источника технической и питьевой воды //Актуальные проблемы социально-экономического и экологического развития промышленного региона: сборник материалов IV международной научно-практической конференции (19 мая 2022 г.). — Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 75 с.

19. Бакуменко, Ю.С. Хлорпоглощаемость как первичный показатель качества исходной воды при водоподготовке//Планета – наш дом: Сборник материалов XIV Международной молодёжной научной конференции / Под общ.ред. В.А. Козачишена — Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 104 с.

20. Бакуменко, Ю.С. Построение статистических моделей показателей качества поверхностных вод / Ю.С. Бакуменко, Л.Е. Подлипенская // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации: Сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции, Алчевск, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 2. — Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022.1. —100 с.
21. Башкин, В.Н., Евстафьева, Е.В., Снакин, В.В. Биогеохимические основы экологического нормирования. — М.: Энергия, 1993 — 93 с.
22. Белан, Ф.И. Водоподготовка: (расчеты, примеры, задачи).— М.: Энергия, 1980 —256 с.
23. Беспалова, Е.В. Экологическое районирование Воронежского водохранилища по показателям фитопланктона и микрофитобентоса // Региональные геосистемы. Воронеж: Экологический вестник, 2018—65 с.
24. Биденко, С.И., Шилин, М.Б., Казьмин, И.А. Концепция моделирования геоэкологической ситуации // Ученые Записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 39, 2015: с. 157 – 164.
25. Бучацкая, Н.В., Емельянова, Н.А., Рекреационные возможности поверхностных водоемов Республики Мордовия // Вестник МГУ. —Мордовия: МГУ, 2015—100 с.
26. Васильев, Ю.С., Масликов, В.И., Шилин, М.Б. Режим регулирования стока Рыбинского водохранилища как основной фактор формирования экологической ситуации в осушной зоне // Ученые Записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 45, 2016: с. 28 – 42.
27. Вассер, С.П., Кондратьева, Н.В., Масюк, Н.П. Водоросли. Справочник — Киев: Наукова думка, 1989—608 с.
28. Вендров, С.Л., Авакян, А.Б., Дьяконов К.Н., Ретеюм, А.Ю. Роль водохранилищ в изменении природных условий / С.Л Вендров, А.Б. Авакян, К.Н. Дьяконов, А.Ю. Ретеюм. — М.: Знание, 1968. — 46 с.
29. Вендров, С.Л., Дьяконов, К.Н. Водохранилища и окружающая природная среда / С.Л Вендров, К.Н. Дьяконов. М.: Наука, 1976. — 136 с.
30. Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды / Б.В. Виноградов. — М: Мысль, 1976. —285 с.
31. Возная, Н.Ф. Химия воды и микробиология. — М.: Высшая школа, 1979. С. 36.
32. Воронов, Ю.В., Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод/Учебник для вузов: — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 —704 с.

33. Гагарина, О.В., Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». —Удмуртия— 2005. №2.
34. Гагарина, О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно–методическое пособие [Текст]/ сост. О.В. Гагарина. / Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». —2012. —199 с.
35. Глобан, В.О, Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод./отв. Глобан В.О, — М.,СЭВ.1976. — 120с.
36. Глобан, В.О. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод./отв. Глобан В.О,/ М.,СЭВ.1976. Ч.3 185с.; Приложение 1: Индикаторы сапробности 1977.с.; Приложение 2: Атлас сапробных организмов. — М.,СЭВ.1976. 1977, — 227 с.
37. Горленко, В.М., Дубинина, Г.А., Кузнецов, С.И. Экология водных микроорганизмов — М.: Наука, 1986. —101 с.
38. ГОСТ Р59054-2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов [Текст]. — Введ.2021–06–01. — М: Госстандарт России: Стандартиформ, 2020—20 с.
39. ГОСТ 17.1.3.07.-1982 . Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков [Текст] — Введ.1982-03-19. — М.:Стандартиформ, 2019 —27 с.
40. ГОСТ 24849-2014. Вода. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий [Текст]. — Введ 2016 —01—01—М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2016—35 с.
41. ГОСТ Р 70152-2022 Качество воды. Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований [Текст]. — Введ 2023—01—01 М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, — 2022.—24 с.
42. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно - питьевого водоснабжения. Гигиенические требования и правила выбора [Текст]. —Введ 1986—01—01 М.: Стандартиформ, 2006.—24 с
43. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. - М.: Стандартиформ, 2013.—64 с.
44. ГОСТ Р 51232-98 Питьевая вода. Общие требования к организации и методам контроля качества [Текст] — Введ 1999—07—1 —М.: Стандартиформ,1999—18 с.
45. Гребенюк, В.Д., Мазо, А.А. Обессоливание воды ионитами. — М.: Химия, 1980 —256 с.

46. ГСТУ 4808:2007 Источники централизованного питьевого водоснабжения — Киев Держспоживстандарт Украины, 2007. —50 с
47. Данилов-Данильян, В.И., Розенталь, О.М. Гипотеза о причинах сильной изменчивости концентрации примесей в природных водах // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 509, № 1, С. 114–119.
48. Двинских, С.А., Китаев, А.Б. Опыт комплексного исследования участков водохранилищ, испытывающих техногенную нагрузку // Географический вестник. 2007. №1–2. —Пермь: Пермский университет, 2007—112 с.
49. Дёмина, О.Н. Состояние водоохраных объектов и вопросы водоотведения поверхностного стока в городе Брянске // Природообустройство. 2009. №3.
50. Дискаленко, А.П. Гроник, О.Н. Прока, Л. М. Потапов А. И. Гигиеническая оценка качества воды поверхностных // Гигиена и санитария. 1983. №3.
51. Долгушев, Н. Н., Малин, Л.И. , Горных, О.Н., Долгушева, О.И., Применение персональной ЭВМ при оценке качества воды водоемов // Гигиена и санитария. 1996. №5.
52. Дрозд, Г.Я. Теоретическое обоснование необходимости и возможности использования шахтных вод в качестве альтернативного источника водоснабжения в Донбассе / Г.Я. Дрозд // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2020. – № 8(152). – С. 4-15. – EDN TUCOHJ.
53. Дрозд, Г.Я. Шахтные воды как фактор риска техногенной катастрофы для Донбасса / Г. Я. Дрозд // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – № 3(135). – С. 4-17. – EDN YYNCKD.
54. Дугаржапова, Е.Д., Цыдыпов, В.Ц. Оценка качества вод водоемов Республики Бурятия по гидрохимическим и санитарно-бактериологическим показателям // Вестник КрасГАУ. 2014. —114 с.
55. Дьяконов, К.Н. Современные проблемы качества воды Волжского водоисточника / К.Н. Дьяконов, М.А. Хрусталева, С.В. Суслов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : Труды IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 25–28 мая 2023 года. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 58-63. – EDN WWYESK.
56. Емельянова, В.П. Данилова, Г.Н. Колесникова, Т.Х. Оценка поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические матер. —1983. - Т.88. — 120 с.

57. Жуков, И.И., Коломиец, А.Ф. Разработка водохозяйственных балансов Исаковского водохранилища на р. Белая Луганской области — Донецк. 2004. — 41 с.
58. Журавлев, П. В., Алешня, В.В., Панасовец, О.П., Айдинов, Г.В., Швагер, М.М., Митрофанова, Т. В., Глухов, А. А., Джансейидов, Б. Х., Мартынов, Г. А., Деревякина, Е. И. Санитарно-бактериологическая характеристика воды Нижнего Дона // Гигиена и санитария. 2012. №4. 2012. — 128 с.
59. Журба, М.Г. Соколов, Л. И, Говорова, Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие. — М.: Издательство АВС, 2004. — 496 с.
60. Закон ЛНР «Об охране окружающей природной среды» № 100 - II от 17.06.16 г.
61. Запольский, А.К. Водоснабжение, водоотведение и качество воды: учебник. — К.: Высш. шк., 2005. — 671 с.
62. Зарубина, Р.Ф., Копылова, Ю.Г. Оценка качества природных вод различного назначения. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 115 с.
63. Зубов, А. Р. Влияние изменения климата на факторы водной эрозии в Донбассе / А. Р. Зубов, Л. Г. Зубова // Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна : материалы Национальной научной конференции, Волгоград, 29–30 октября 2020 года. — Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2020. — С. 523-527. — EDN VKPRUT.
64. Кагановский, А.М. Клименко Н.А., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Рода И.Г. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. — М.: Химия, 1983. — 288 с.
65. Карюхина, Т.А., Чурбанова, И.Н. Химия воды и микробиология: Учеб. для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1995. — 208 с.
66. Кожова, О. М., Исследование биологического действия антропогенных факторов, загрязняющих водоемы. Иркутск: ИГУ, 1979 — 184 с.
67. Кокотов, Ю.А. Иониты и ионный обмен. — Л.: Химия, 1980. — 152 с.
68. Кондратьева, Т. А., Выборнова, И. Б., Исмаилова, Р. Н. Оценка экологического состояния водоемов города Казани // Вестник Казанского технологического университета. — М.: Энергия, 2013. 155 с.
69. Корнеев А. В., Вах А. С. Геоэкологические аспекты в оценке техногенной нагрузки на природную среду от сброса сточных вод в водные объекты // Вологодские чтения. 2008. №6.

70. Кострикин, Ю.М., Мещерский, Н.А. Коровина, О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 252 с.
71. Костяев, В.Л. Биология и экология азотфиксирующих сине-зеленых водорослей пресных вод. — Л.: Наука, 1986. — 220 с.
72. Кравченко, В.С., Водоснабжение и канализация: Учебник. — К.: Кондор, 2003 — 288 с.
73. Крайнов, С. Р., Швец, В. М., Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. — М.: Недра, 1987 — 237 с.
74. Кулакова, С.И. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие. / С.И. Кулакова, Л.Е. Подлипенская, Д.А. Мельничук. — Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — 117 с.
75. Кульнев, В.В., Насонов, А.Н., Цветков, И.В., Межова, Л.А. Оценка техногенной нагруженности Нижнетагильского городского пруда и управление геоэкологическими рисками на основе мультифрактальной динамики // Изв.Сарат. ун-та Нов.сер. Сер. Науки о Земле. 2021. №1. Саратов: 2021. — 214 с.
76. Кульский, Л.А., Булава, М.Н., Гороновский, И.Т., Смирнов, П.И. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов. (Издание 2-е, переработанное и дополненное). — К.: Строитель, 1972 — 424 с.
77. Кутявина, Т.И., Олькова, А.С. Проблемы эксплуатации и экологического состояния Омутнинского водохранилища Кировской области // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. №8 (161). С 66-74
78. Лукашевич, О.Д. Экологические и технологические аспекты оценки качества природных вод для производственного и хозяйственно-бытового использования // Вода и экология, 2007. — Т. 1, вып. 1. — С. 3-16
79. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1984. — 448с.
80. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы анализа воды // Издательство «Химия» — М.: Издательство Химия. 1973 — 650 с.
81. Лыков, И.Н., Лобода, Н.Б., Кубо, Е.Э. Геоэкологические особенности Яченского водохранилища города Калуги // Проблемы региональной экологии. 2019. №4.
82. Мазаев, В.Т., Шлепнина, Т.Г., Мандрыгин, В.И. Контроль качества воды. — М.: Колос, 1999. — 241 с.

83. Макаришина, Ю.И. Исследование качества воды водоемов культурно-бытового использования промышленных городов Донбасса: магистер.раб — Донецк.: ДонНТУ–2009. —200 с.
84. Манукьян, Д.А., Карпенко, Н.П. Геоэкологические проблемы природообустройства // Природообустройство. 2009. №3.
85. Манцев, А.И., Очистка сточных вод флотацией, —К.: Строитель, 1976 —132 с.
86. Межова, Л.А., Кульнев В. В., Луговской А. М. Региональный геоэкологический анализ качества среды обитания и ее влияние на здоровье населения // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2021. №3.
87. Методические рекомендации «Контроль качества воды по гидробиологическим показателям в поверхностных водоисточниках по этапам водоподготовки и в питьевой воде – Донецк ЦКИПВЛ , 2010 —84 с.
88. Методические указания МУК 4.2.3963-23 «Бактериологические методы исследования воды» официальное издание: утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 1 сентября 2023г.- введены 01.12.2023 —М. РОСПОТРЕБНАДЗОР., 2023-131 с.
89. Найденко, В.В., Кулакова А.П., Шеренков Н.А. Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод. — М.: Стройиздат., 1984. —152 с.
90. Насонкина, Н.Г., Маркин, В. В. Производственные исследования воздействия пробиотического средства "Оксидол" на процессы очистки сточных вод // Молодой исследователь Дона. — Ростов на Дону: Донской государственный технический университет, 2017. №4 (7). — 40 с.
91. Насонкина, Н.Г. Повышение экологической безопасности систем питьевого водоснабжения. — Макеевка, ДонНАСА, —181 с.
92. Насонкина, Н.Г. Состояние водопроводных систем и качество питьевой воды // Вестник ДонНАСА: Сб.научных трудов. — Макеевка. 1999. — Вип.99-3(17). — С. 29-30.
93. Ндикумана, Э. Применение QGIS для мониторинга сельскохозяйственных рисков в Республике Бурунди / Э. Ндикумана // Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2022. – С. 47-57. – EDN URCVUM.
94. Никанорова, А.М., Комплексные оценки качества поверхностных вод./ Под ред. А.М. Никанорова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 139 с.

95. Никитин, О. В., Латыпова, В.З., Шагидуллин, Р.Р., Поздняков, С.Р., Геоэкологический мониторинг излуцины реки Казанка как фактора химического загрязнения Куйбышевского водохранилища // Георесурсы. 2011. №2 (38). С. 27-30
96. Новиков, Ю.В., Ласточкина, К.О., Болдина, З.Н. Методы исследования качества воды водоёмов. Под ред. А.П. Инецковой. — М.: Медицина, 1990. — 400 с.
97. Нохрин, Д.Ю. Химический состав и качество воды Шершнёвского водохранилища в 2001-2009 годах // Вестник ЧелГУ. 2010. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-i-kachestvo-vody-shershnyovskogo-vodohranilischa-v-2001-2009-godah> (дата обращения: 27.03.2023).
98. Оксийок, О.П., Жукинский, В.Н. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал, 1993. — Т. 29, вып. 4. — С. 62-76.
99. Орлов В. А. Озонирование воды. — М.: Стройиздат, 1984. —88 с.
100. Паламарчук, М.М., Закорчевна, Н.Б. Водний фонд України: Довідковий посібник / За ред. В. М. Хорєва, К. А. Алієва. — К.: Ніка-Центр, 2001.
101. Пивоваров, Ю.П. Санитарно-значимые микроорганизмы (таксономическая характеристика и дифференциация) / Ю.П. Пивоваров, В. В. Коро-лик. - Москва: ИКАР, 2000. —268 с.
102. Подлипенская, Л.Е., ГИС-проект рекреационных водных ресурсов Луганской Народной Республики / Л. Е. Подлипенская, В. С. Федорова, Ю. С. Бакуменко – Текст : непосредственный // Экология урбанизированных территорий. – 2024. – № 2. – С. 72-82. – DOI 10.24412/1816-1863-2024-2-72-82. – EDN FXESRO
103. Подлипенская Л. Е., Оценка экологического состояния Исаковского водохранилища в современных условиях / Л. Е. Подлипенская, Ю. С. Бакуменко // Экологический мониторинг и биоразнообразие: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Ишим, 25–26 декабря 2018 года / Отв. ред. А.Ю. Левых. – Ишим: Изд-во ИПИ им. П.П. Ершова (филиала) ТюмГУ, 2018. – С. 34-38.
104. Подлипенская, Л.Е., Исследование процессов эвтрофикации и самоочищения водоемов / Л. Е. Подлипенская, Ю. С. Бакуменко // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 1. – С. 10-18.
105. Полонский, В.Ф. Особенности современных гидролого-морфологических процессов в дельте Волги / В. Ф. Полонский // Водные ресурсы. 1995. — Т. 22. - №5. — С. 516-525.
106. Реймерс, Н.Ф. Природопользование. — М: Мысль, 1990г. — 150 с.

107. Роговская, Ц.И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод. — М.: Стройиздат., 1967. —140 с.
108. Руководящий документ РД 52.24.643-2002 "Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям" (утв. и введен в действие Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 3 декабря 2002 г.)
109. Савченко, П.С. Методы химического и микробиологического анализа воды// Государственное медицинское издательство УССР —Киев, 1961. —240 с.
110. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: издание официальное: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 28.01.2021: введен 01.03.2021. — М.: Госкомсанэпиднадзор, 2021.
111. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемиологических мероприятий: издание официальное: утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 28 января 2021 г. М.: Госкомсанэпиднадзор 2021
112. Симоненко, В.Д. Очерки о природе Донбасса. /В.Д. Симоненко. — Донецк: Донбасс, 1977. —120 с.
113. Сколубович, Ю.Л., Войтов, Е.Л., Сколубович, А.Ю. Окислительные и коагуляционные методы очистки воды для питьевого водоснабжения // Вестник ИрГТУ. 2010. №6 (46).
114. Слесаренко, В.Н. Опреснительные установки. — Владивосток: ДВГМА, 1999 —244 с.
115. Спирин, Ю.А., Зотов, С.И. Проблемы геоэкологического состояния и использования поверхностных вод Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2019. №2.
116. Тихановская, Г. А., Машихина, Ю.В. Оценка экологического состояния водотоков Рыбинского водохранилища // Вестник ВолГУ. Серия 11. Естественные науки. 2016. №1 (15). С.33-40
117. Уилкс С. Математическая статистика, (пер. с англ.) М.: Наука, 1967. 632 с. 4. James T. McClave, Terry Sincich. Statistics. Pearson Education, Incorporated, 2020. – 896 p.

118. Федорова, В.С. Оценка качества поверхностных вод водоёмов как объектов рекреации / В. С. Федорова, Ю.С. Бакуменко // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 2. – С. 17-27.
119. Фисуненко, О.П., Жадан, В.И. Природа Луганской области / О.П. Фисуненко, В.И.Жадан. – Луганск, 1994. —320 с.
120. Фрог, Б.Н., Левченко, А.П. Водоподготовка: Учебное пособие для вузов. — М. Издательство МГУ, 1996г. —680 с.
121. Фрумин, Г. Т. Динамика качества воды Псковского озера (2000-2018 гг.) / Г. Т. Фрумин, Н. А. Малышева // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2020. – № 4. – С. 32-40. – DOI 10.17076/lim1133. – EDN GBSUDO.44
122. Ходоровская, Н. И., Сперанский, В. С., Цейзер, Н.М., Тряпицына, С. В, Чернов, К. С. Инвентаризация и ранжирование источников загрязнения Шершнёвского водохранилища // Вестник ЧелГУ. 2008. №4.
123. Цыганов, А. А., К методике оценки качества воды поверхностных водных объектов Старицкого района//Вестник ТвГУ. Серия «География и геоэкология». 2017.№2. С102-115.
124. Чусов, А.Н., Шилин, М.Б. Введение в биосферологию // СПб: изд-во Санкт-Петербургского политехнического ун-та Петра Великого, 2019.- 269 с.
125. Шитиков, В.К., Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
126. Щеголькова, Н. М., Веницианов, Е.В., Рыбка, К.Ю., Звезденкова, Г.А., Скрипчинский, А.К., Многолетняя динамика процессов самоочищения как интегральный показатель для выбора управляющих воздействий // ВХР. 2016. №4.
127. Ясаманов, Н.А., Основы геоэкологии: Учеб.пособие для эколог. Специальностей вузов/Н.А. Ясаманов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 352 с.
128. Эдельштейн, К. К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения / К. К. Эдельштейн. — М.: ГЕОС, 1998. — 277 с

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень водных объектов стратегического назначения

Таблица А. — Перечень водных объектов стратегического назначения Луганской Народной Республики

№ п/п	Наименование водохранилища	Месторасположение водного объекта	Обоснование отнесения к стратегическим водным объектам
1	Исаковское	Перевальский р-н, пос. Михайловка	Источник водозабора промышленных предприятий, важная зона рекреации
2	Каменское	Лутугинский р-н, с. Каменка Антрацитовский р-н, с. Ребриково	Второй по объему водоем ЛНР, место рекреации, источник водозабора оросительной системы
3	Штеровское	г. Красный Луч, г. Миусинск	Имеет важное рекреационное значение, расположено на трансграничной реке Миус
4	Верхне-Орловское	г. Алчевск	Источник водозабора ООО «ЮГМК»
5	Нижне-Орловское	г. Алчевск	Источник водозабора ООО «ЮГМК»
6	Елизаветовское	Антрацитовский р-н, с. Елизаветовка	Источник питьевого и технического водоснабжения для ГУП ЛНР «Лугансквода»
7	Яновское	Антрацитовский р-н, Краснокутский сельский совет	Источник питьевого водоснабжения для ГУП ЛНР «Лугансквода»
8	Должанское	Свердловский р-н, пгт Бирюково	Трансграничный водный объект, источник водозабора оросительной системы
9	Астаховское	Свердловский р-н, с. Астахово	Водохранилище на трансграничной реке вблизи границы
10	Бирюковское	Свердловский р-н, пгт Бирюково	Работает в каскаде с Должанским водохранилищем, играет важную роль в регулировании стока трансграничной р. Кундрючья
11	Успенское	пгт. Успенка, Лутугинский р-н	Источник водозабора Лутугинского завода прокатных валков
12	Ломоватское)	г. Алмазное	Источник водозабора ООО «ЮГМК»
13	Лутугинское	г. Лутугино	Имеет важное рекреационное значение, источник водозабора оросительной системы

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Перечень используемых показателей качества воды

Таблица Б — Условные обозначения показателей качества воды, используемые в исследованиях

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
Общие параметры водоема и климатические параметры			
X1	Уровень по Балтийскому морю	м	Показывает уровень воды в водоеме относительно ноля Кронштатского футштока (средний многолетний уровень Балтийского моря в Кронштате. При нормальном подпорном уровне Исаковского водохранилища уровень воды составляет 110 м.
X2	Глубина забора от зеркала воды	м	Глубина забора воды в Исаковском водохранилище соответствует толще воды над всасом насоса (уровень всаса 103 м) и рассчитывается $X2=X1-103$
X3	Температура воды на глубине забора	°С	Температура воды на глубине X2,
X4	Температура воздуха	°С	Температура воздуха в районе Исаковского водохранилища
Органолептические и физико-химические показатели качества воды			
X5	Цветность	град цветности	Цветность воды характеризует интенсивность окраски воды, обусловлена содержанием окрашенных соединений..
X6	Мутность	мг/дм ³	Мутность воды характеризует уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей.
X7	Водородный показатель	единицы рН	Водородный показатель рН, мера активности ионов водорода в растворе, количественно выражающая его кислотность.
X8	Щелочность	ммоль/дм ³	Щелочность — показатель количественной оценки свойств водной среды реагировать с ионами водорода или же способность воды сопротивляться изменению рН при добавлении кислоты.
X9	Кальций	мг/дм ³	Количество ионов кальция, которое содержится в воде.
X10	Магний	мг/дм ³	Количество ионов магния, которое содержится в воде.
X11	Жесткость общая	град. жесткости	Суммарная концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде, выраженная в градусах жесткости

Продолжение таблицы Б

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
X12	Железо общее	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию ионов железа, которые содержатся в 1 дм ³ воды.
X13	Сухой остаток	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию всех растворённых в воде соединений, которые содержатся в 1 дм ³ воды. Характеризует общую степень минерализации воды, а также определяет её вкусовые качества и коррозионную активность.
X14	Сульфаты	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию сульфат ионов которые содержатся в 1 дм ³ воды. Сульфат ионы - это анионы солей серной кислоты H ₂ SO ₄ .
X15	Хлориды	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию хлорид ионов которые содержатся в 1 дм ³ воды. Соли (природного и антропогенного происхождения), полученные при взаимодействии соляной кислоты и катионов металла, имеющие высокую растворимость в воде.
X16	Медь	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию ионов меди, которые содержатся в 1 дм ³ воды.
X17	БПК ₅	мг/дм ³	Биохимическое потребление кислорода — показатель характеризует массовую концентрацию кислорода в мг/дм ³ , которое требуется для окисления находящихся в воде углеродосодержащих органических веществ, в аэробных условиях в результате биохимических процессов в течение 5 дней.
X18	Перманганатная окисляемость	мг/дм ³	Перманганатная окисляемость воды водоёма — это показатель, который отражает содержание в воде органических и некоторых неорганических веществ, способных окисляться.
X19	Ортофосфаты	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию ионов PO ₄ ³⁻ и HPO ₄ ²⁻ , которые содержатся в 1 дм ³ воды. В водных растворах ортофосфаты подвержены гидролизу. Органические соединения фосфора присутствуют в поверхностных водах в растворенном, взвешенном и коллоидном состоянии.
X20	Сероводород	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию сероводорода, которые содержатся в 1 дм ³ воды. Сероводород образуется при разложение органических веществ в условиях отсутствия кислорода
X21	Ионы аммония	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию аммиака и ионов аммония которые содержатся в 1 дм ³ воды. Аммиак является начальным продуктом разложения органических азотосодержащих веществ. Ионы аммония (NH ₄ ⁺) являются основной формой нахождения аммиака в водных растворах при низких значениях pH.

Продолжение таблицы Б

X	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
X22	Нитрат-ионы	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию нитрат-ионов которые содержатся в 1 дм ³ воды. Нитраты это конечные продукты минерализации органических веществ бактериями, присутствующими в воде с достаточным содержанием кислорода. Присутствие в воде нитратов без аммиака и нитритов указывает на завершение процесса минерализации.
X23	Нитрит -ионы	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию нитрит ионов которые содержатся в 1 дм ³ воды. Продукты неполного окисления аммиака под влиянием микроорганизмов в процессе нитрификации. Наличие нитрит-ионов свидетельствует о возможном загрязнении воды органическими веществами, однако нитри-ионов указывают на известную давность загрязнения.
X33	Растворенный кислород (РК)	мг/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию РК которые содержатся в 1 дм ³ воды. Зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, количества осадков, минерализации воды и прочее. В поверхностных водах содержание РК может колебаться от 0 до 14мг/дм ³ и подвержено сезонным и суточным колебаниям.
Микробиологические и гидробиологические показатели качества воды			
X24	ОМЧ 37	КОЕ/см ³	Общее микробное число (ОМЧ) — это показатель для оценки общей бактериальной обсеменённости. ОМЧ 37 — общее количество всех микроорганизмов, вырастающих на питательном агаре при посеве 1 см ³ воды в течение 24 ч при температуре 37°С
X25	ОМЧ 22	КОЕ/см ³	ОМЧ 22 — общее количество всех микроорганизмов, вырастающих на питательном агаре при посеве 1 см ³ воды в течение 48 ч при температуре 22°С
X26	Индекс самоочищения	-	Рассчитывается как соотношения ОМЧ 22°С/ОМЧ 37°
X27	Обобщенные колиформные бактерии (ОКБ)	КОЕ/100с м ³	Обобщённые колиформные бактерии (ОКБ) — это санитарно-микробиологический показатель качества воды, объединяющий широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии порядка Enterobacteriales. ОКБ включают в себя граммотрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки, способные расти на дифференциальных средах и ферментировать глюкозу и (или) лактозу до кислоты и газа при температуре 36 ± 1 °С в течение 24 ч.

Продолжение таблицы Б

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
X28	Escherichia coli (E.coli)	КОЕ/100с м ³	Е. coli показатель фекального загрязнения. Показатель E. coli — количество бактерий ОКБ содержащихся в 100см ³ воды, способных ферментировать лактозу до газа при температуре 43 °С и обладающие положительной реакцией на индол.
X29	Колифаги	БОЕ/дм ³	Колифаги в водоёме — это вирусы, поражающие бактериальные клетки. Наличие колифагов свидетельствует о содержании в воде опасных энтеровирусов колиформных бактерий. Показывают количество бляшек (зон лизиса) на бактериальном газоне при 37°С в течение 24 часов.
X30	Энтерококки	КОЕ/100с м ³	Энтерококки в водоёме — это санитарно-показательный микроорганизм, используемый для санитарной оценки воды открытых водоёмов. Обнаружение их в воде свидетельствует о фекальном загрязнении этого объекта. Показывает количество колоний на дифференцирующих свырастающих в течение 24 ч при температуре 37°С
X31	Численность фитопланктона	клеток/см ³	Численность фитопланктона в воде водоёма — это количество микроскопических водорослей, свободно «парящих» в толще воды, в см ³
X32	Биомасса	г/дм ³	Показатель характеризует массовую концентрацию свободно парящих в толще воды водорослей, которые содержатся в 1 дм ³ .
Технологические параметры обработки воды гипохлоритом натрия			
X34	Дозировка хлора	мг/дм ³	Количество активного хлора, дозируемого в исходную воду при первичном хлорировании.
X35	Общий остаточный хлор	мг/дм ³	Количество активного хлора, который содержится в воде, после контактной и регулирующей емкостей.
X36	Свободный хлор	мг/дм ³	Количество свободного активного хлора, который содержится в воде после контактной и регулирующей емкостей.
X37	Связанный хлор	мг/дм ³	Количество связанного активного хлора, который содержится в воде после контактной и регулирующей емкостей.
X38	Хлорпоглощаемость	мг/дм ³	Количество хлора, которое поглощается в контактной и регулируемой емкостях после первичного хлорирования. ХП(Х38)=Дозировка хлора (Х34) - Общий остаточный хлор (Х35)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Перечень методик определения качества воды

Таблица В — Методики определения показателей качества воды химико-бактериологической лабораторией цеха водоподготовки ООО «ЮГМК»

Показатель	Единицы измерения	Методика определения
1	2	3
Бактериологический отдел		
Общее микробное число 22С	КОЕ/см ³	МУ 2285-81 "Санитарно-микробиологический анализ воды поверхностных водоемов"
Общее микробное число 37	КОЕ/см ³	
Обобщенные колиформы ОКФ, ОКБ	КОЕ/100 см ³	
E-coli	КОЕ/100дм ³	
Колифаги	БОЕ/дм ³	
Число кишечных гельминтов и кишечных простейших	клеток, цист/50дм ³	
Фитопланктон численность	тыс.кл/см ³	МР «Контроль качества воды по гидробиологическим показателям в поверхностных водоисточниках по этапам водоподготовки и в питьевой воде – Донецк ЦКИПВЛ, 2010
Фитопланктон биомасса	мг/дм ³	
Аналитический отдел		
Запах	балл	ГОСТ Р 57164-2016
Цветность	град Pt-Co шкалы	ГОСТ 31868-2012
Мутность	мг/дм ³	ГОСТ Р 57164-2016
Сухой остаток	мг/дм ³	МВВ081/12-0109-03
Сульфаты	мг/дм ³	МВВ081/12-0007-01
Хлориды	мг/дм ³	МВВ081/12-0004-01
Магний	мг/дм ³	МВВ081/12-0006-02
Жесткость,	ммоль/дм ³	ГОСТ 31954-2012
Щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ 31957-2012
Водородный показатель, рН	единицы рН	МВВ081/12-0317-06

Продолжение таблицы В

Показатель	Единицы измерения	Методика определения
1	2	3
Аналитический отдел		
Азот нитритный	мг/дм ³	ГОСТ 33045-2014
Азот аммонийный	мг/дм ³	ГОСТ 33045-2014
Азот нитратный	мг/дм ³	ГОСТ 33045-2014
Фосфор фосфатов	мг/дм ³	МВВ081/12-0005-01
Растворенный кислород	мг/дм ³	МВВ081/12-0008-01
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	МВВ081/12-0016-01
Биологическое потребление кислорода, БПК 5	мг/дм ³	МВВ081/12-0014-01
Сероводород	мг/дм ³	МВВ081/12-0017-01
Алюминий	мг/дм ³	ГОСТ 18165-2014
Железо общее	мг/дм ³	МВВ 081/12-0175-05
Марганец	мг/дм ³	МВВ081/12-0107-03
Флюорометрический отдел		
Бихроматная окисляемость, ХПК	мг/дм ³	МВВ 081/12-0136-04
Бериллий	мкг/дм ³	М 01-35-2006
Медь	мкг/дм ³	СЭВ
Цинк	мкг/дм ³	МВВ 081/12-0228-05
Нефтепродукты	мкг/дм ³	МВВ 081/12-0230-05
АПАВ и КПАВ	мкг/дм ³	ПНД Ф 14. 1:2:4.39-95
Фенолы	мкг/дм ³	МВВ 081/12-0226-05
Формальдегид	мкг/дм ³	МВВ 081/12-0227-05

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Основные направления водопользования и водопотребления Исаковского водохранилища

Обеспечение технической водой промышленных предприятий и тепловых сетей г. Алчевск



Водоснабжение
садовых обществ

Рыбалка



Парусный спорт

Базы отдыха, организованные
и неорганизованные места
отдыха



Рисунок Г — Примеры использования Исаковского водохранилища

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Корреляционные связи между исследуемыми показателями

Таблица Д — Корреляционная матрица связей между исследуемыми показателями

	Средние	Ст.откл.	n	x1	x2	x3	x4	x5
n	54,500	31,32	1,00	-0,01	-0,01	0,26	0,03	-0,19
x1	109,578	0,73	-0,01	1,00	1,00	0,11	0,25	-0,19
x2	7,378	0,73	-0,01	1,00	1,00	0,11	0,25	-0,19
x3	11,499	7,17	0,26	0,11	0,11	1,00	0,82	0,07
x4	13,694	11,83	0,03	0,25	0,25	0,82	1,00	0,17
x5	49,186	18,28	-0,19	-0,19	-0,19	0,07	0,17	1,00
x6	2,148	0,99	-0,18	-0,17	-0,17	0,05	0,16	0,95
x7	8,081	0,24	-0,07	-0,25	-0,25	-0,31	-0,40	0,02
x8	5,509	0,49	-0,11	-0,12	-0,12	-0,48	-0,32	0,04
x9	77,962	10,89	0,26	0,46	0,46	-0,12	0,00	-0,07
x10	54,035	6,27	-0,16	-0,31	-0,31	-0,31	-0,30	0,06
x11	8,354	0,61	0,11	0,04	0,04	-0,35	-0,28	0,03
x12	0,043	0,02	-0,19	-0,18	-0,18	0,23	0,25	0,51
x13	1239,630	138,41	0,01	-0,46	-0,46	-0,30	-0,41	0,04
x14	573,546	69,52	0,06	-0,47	-0,47	-0,23	-0,40	0,05
x15	77,117	13,57	-0,31	-0,55	-0,55	-0,30	-0,36	0,09
x16	0,015	0,01	-0,76	0,18	0,18	-0,13	0,08	0,15
x17	2,401	1,50	-0,12	0,08	0,08	0,57	0,60	0,30
x18	4,747	1,12	0,00	-0,18	-0,18	0,24	0,24	0,36
x19	2,772	2,08	-0,23	0,15	0,15	-0,21	-0,16	0,01
x20	0,046	0,34	-0,15	0,09	0,09	0,15	0,19	0,18
x21	0,332	0,50	-0,36	0,07	0,07	0,02	0,18	0,14
x22	1,212	1,33	0,08	0,15	0,15	-0,25	-0,08	-0,17
x23	0,040	0,13	0,17	-0,19	-0,19	0,06	0,02	0,06
x24	60,491	73,19	-0,18	-0,02	-0,02	0,43	0,46	0,30
x25	174,843	176,02	-0,02	-0,12	-0,12	0,35	0,35	0,42
x26	5,976	8,73	0,16	-0,45	-0,45	-0,24	-0,26	0,03
x27	4690,713	12757,36	0,20	-0,22	-0,22	0,45	0,34	0,04
x28	1081,986	3037,39	0,05	0,03	0,03	0,33	0,33	0,02
x29	266,352	809,10	-0,03	0,11	0,11	0,27	0,31	-0,03
x30	156,000	315,53	-0,34	0,10	0,10	0,34	0,35	0,20
x31	7554,815	5615,46	0,37	0,20	0,20	0,36	0,25	0,05
x32	103,949	1058,27	0,12	0,03	0,03	0,05	0,01	0,01
x33	7,473	3,85	-0,01	-0,19	-0,19	-0,75	-0,70	-0,14
x34	3,162	1,26	-0,08	0,14	0,14	0,51	0,57	0,39
x35	0,831	0,18	-0,01	0,15	0,15	0,37	0,28	0,13
x36	0,331	0,21	-0,11	0,30	0,30	0,17	0,13	-0,02
x37	0,500	0,18	0,12	-0,18	-0,18	0,19	0,14	0,14
x38	2,333	1,22	-0,08	0,12	0,12	0,47	0,55	0,38

Продолжение таблицы Д

	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13
n	-0,18	-0,07	-0,11	0,26	-0,16	0,11	-0,19	0,01
x1	-0,17	-0,25	-0,12	0,46	-0,31	0,04	-0,18	-0,46
x2	-0,17	-0,25	-0,12	0,46	-0,31	0,04	-0,18	-0,46
x3	0,05	-0,31	-0,48	-0,12	-0,31	-0,35	0,23	-0,30
x4	0,16	-0,40	-0,32	0,00	-0,30	-0,28	0,25	-0,41
x5	0,95	0,02	0,04	-0,07	0,06	0,03	0,51	0,04
x6	1,00	0,09	0,00	-0,06	0,02	0,02	0,52	0,00
x7	0,09	1,00	0,18	-0,06	0,25	0,23	0,04	0,35
x8	0,00	0,18	1,00	0,05	0,47	0,43	-0,09	0,57
x9	-0,06	-0,06	0,05	1,00	-0,23	0,59	-0,12	-0,20
x10	0,02	0,25	0,47	-0,23	1,00	0,56	0,05	0,69
x11	0,02	0,23	0,43	0,59	0,56	1,00	0,00	0,45
x12	0,52	0,04	-0,09	-0,12	0,05	0,00	1,00	0,03
x13	0,00	0,35	0,57	-0,20	0,69	0,45	0,03	1,00
x14	0,01	0,39	0,45	-0,22	0,67	0,44	0,06	0,86
x15	0,05	0,40	0,59	-0,42	0,71	0,28	0,09	0,85
x16	0,19	-0,11	0,06	-0,29	0,02	-0,27	0,08	-0,19
x17	0,32	-0,24	-0,17	-0,11	-0,17	-0,24	0,20	-0,20
x18	0,29	-0,01	0,01	-0,01	0,17	0,04	0,30	0,18
x19	-0,03	0,02	-0,08	-0,06	-0,18	-0,24	-0,02	-0,21
x20	0,20	-0,11	-0,06	0,04	-0,08	-0,04	-0,11	-0,07
x21	0,14	-0,09	0,00	-0,04	0,15	0,08	0,08	-0,05
x22	-0,17	-0,01	-0,06	0,34	-0,33	0,01	-0,20	-0,32
x23	0,04	-0,15	0,01	-0,06	0,07	-0,01	0,01	0,11
x24	0,23	-0,06	0,03	0,03	-0,10	-0,04	0,24	0,01
x25	0,32	-0,02	0,03	-0,01	-0,02	-0,06	0,26	0,05
x26	0,05	0,07	0,08	-0,17	0,27	0,03	-0,04	0,23
x27	0,01	-0,05	-0,01	-0,22	-0,04	-0,23	0,06	0,15
x28	-0,02	-0,23	0,09	-0,08	-0,15	-0,20	0,06	-0,03
x29	0,00	-0,17	-0,19	-0,28	-0,26	-0,42	0,00	-0,30
x30	0,17	-0,08	-0,12	-0,19	-0,03	-0,16	0,28	-0,11
x31	0,02	-0,17	-0,23	0,37	-0,16	0,17	-0,02	-0,17
x32	0,03	-0,02	-0,12	0,00	0,12	0,10	-0,01	0,05
x33	-0,06	0,66	0,44	0,02	0,30	0,30	-0,19	0,36
x34	0,37	-0,49	-0,14	-0,11	-0,25	-0,30	0,21	-0,30
x35	0,15	-0,10	-0,45	0,10	-0,29	-0,15	0,09	-0,42
x36	-0,01	-0,14	-0,22	-0,01	-0,38	-0,33	-0,03	-0,36
x37	0,16	0,06	-0,21	0,10	0,13	0,22	0,12	-0,02
x38	0,36	-0,49	-0,07	-0,13	-0,21	-0,29	0,20	-0,25

Продолжение таблицы Д

	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21
n	0,06	-0,31	-0,76	-0,12	0,00	-0,23	-0,15	-0,36
x1	-0,47	-0,55	0,18	0,08	-0,18	0,15	0,09	0,07
x2	-0,47	-0,55	0,18	0,08	-0,18	0,15	0,09	0,07
x3	-0,23	-0,30	-0,13	0,57	0,24	-0,21	0,15	0,02
x4	-0,40	-0,36	0,08	0,60	0,24	-0,16	0,19	0,18
x5	0,05	0,09	0,15	0,30	0,36	0,01	0,18	0,14
x6	0,01	0,05	0,19	0,32	0,29	-0,03	0,20	0,14
x7	0,39	0,40	-0,11	-0,24	-0,01	0,02	-0,11	-0,09
x8	0,45	0,59	0,06	-0,17	0,01	-0,08	-0,06	0,00
x9	-0,22	-0,42	-0,29	-0,11	-0,01	-0,06	0,04	-0,04
x10	0,67	0,71	0,02	-0,17	0,17	-0,18	-0,08	0,15
x11	0,44	0,28	-0,27	-0,24	0,04	-0,24	-0,04	0,08
x12	0,06	0,09	0,08	0,20	0,30	-0,02	-0,11	0,08
x13	0,86	0,85	-0,19	-0,20	0,18	-0,21	-0,07	-0,05
x14	1,00	0,82	-0,28	-0,17	0,14	-0,10	-0,06	-0,09
x15	0,82	1,00	0,07	-0,07	0,18	-0,12	-0,01	0,04
x16	-0,28	0,07	1,00	0,19	0,01	0,22	0,10	0,44
x17	-0,17	-0,07	0,19	1,00	0,33	-0,10	0,43	0,08
x18	0,14	0,18	0,01	0,33	1,00	-0,07	0,16	0,08
x19	-0,10	-0,12	0,22	-0,10	-0,07	1,00	0,05	-0,09
x20	-0,06	-0,01	0,10	0,43	0,16	0,05	1,00	-0,02
x21	-0,09	0,04	0,44	0,08	0,08	-0,09	-0,02	1,00
x22	-0,35	-0,36	-0,14	-0,27	-0,25	0,05	-0,11	-0,26
x23	0,08	0,04	-0,20	-0,01	-0,03	-0,12	-0,04	-0,07
x24	0,01	0,13	-0,01	0,43	0,25	-0,13	0,44	-0,02
x25	0,05	0,10	-0,12	0,24	0,35	-0,20	0,03	0,02
x26	0,22	0,19	-0,15	-0,20	0,10	-0,16	-0,07	-0,09
x27	0,14	0,16	-0,23	0,28	0,16	-0,20	-0,01	-0,06
x28	-0,06	-0,04	0,06	0,16	0,04	-0,01	0,02	0,00
x29	-0,20	-0,21	0,16	0,26	-0,04	0,17	-0,02	0,12
x30	-0,07	0,03	0,25	0,22	0,14	0,08	0,18	0,37
x31	-0,11	-0,28	-0,29	0,26	0,09	-0,10	0,09	-0,08
x32	0,10	0,00	-0,06	0,02	-0,05	0,04	-0,01	-0,03
x33	0,34	0,37	-0,07	-0,46	-0,18	0,02	-0,22	-0,15
x34	-0,29	-0,20	0,26	0,69	0,26	0,00	0,34	0,21
x35	-0,32	-0,40	-0,05	0,25	0,09	0,03	0,19	0,04
x36	-0,38	-0,32	0,12	0,12	0,04	0,13	0,22	-0,14
x37	0,10	-0,04	-0,18	0,11	0,05	-0,12	-0,05	0,20
x38	-0,25	-0,14	0,28	0,67	0,25	-0,01	0,33	0,21

Продолжение таблицы Д

	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
n	0,08	0,17	-0,18	-0,02	0,16	0,20	0,05	-0,03
x1	0,15	-0,19	-0,02	-0,12	-0,45	-0,22	0,03	0,11
x2	0,15	-0,19	-0,02	-0,12	-0,45	-0,22	0,03	0,11
x3	-0,25	0,06	0,43	0,35	-0,24	0,45	0,33	0,27
x4	-0,08	0,02	0,46	0,35	-0,26	0,34	0,33	0,31
x5	-0,17	0,06	0,30	0,42	0,03	0,04	0,02	-0,03
x6	-0,17	0,04	0,23	0,32	0,05	0,01	-0,02	0,00
x7	-0,01	-0,15	-0,06	-0,02	0,07	-0,05	-0,23	-0,17
x8	-0,06	0,01	0,03	0,03	0,08	-0,01	0,09	-0,19
x9	0,34	-0,06	0,03	-0,01	-0,17	-0,22	-0,08	-0,28
x10	-0,33	0,07	-0,10	-0,02	0,27	-0,04	-0,15	-0,26
x11	0,01	-0,01	-0,04	-0,06	0,03	-0,23	-0,20	-0,42
x12	-0,20	0,01	0,24	0,26	-0,04	0,06	0,06	0,00
x13	-0,32	0,11	0,01	0,05	0,23	0,15	-0,03	-0,30
x14	-0,35	0,08	0,01	0,05	0,22	0,14	-0,06	-0,20
x15	-0,36	0,04	0,13	0,10	0,19	0,16	-0,04	-0,21
x16	-0,14	-0,20	-0,01	-0,12	-0,15	-0,23	0,06	0,16
x17	-0,27	-0,01	0,43	0,24	-0,20	0,28	0,16	0,26
x18	-0,25	-0,03	0,25	0,35	0,10	0,16	0,04	-0,04
x19	0,05	-0,12	-0,13	-0,20	-0,16	-0,20	-0,01	0,17
x20	-0,11	-0,04	0,44	0,03	-0,07	-0,01	0,02	-0,02
x21	-0,26	-0,07	-0,02	0,02	-0,09	-0,06	0,00	0,12
x22	1,00	-0,04	-0,14	-0,11	-0,02	-0,13	-0,05	-0,03
x23	-0,04	1,00	0,24	0,25	-0,03	0,41	-0,01	-0,08
x24	-0,14	0,24	1,00	0,63	-0,29	0,46	0,28	0,00
x25	-0,11	0,25	0,63	1,00	0,04	0,39	0,20	-0,04
x26	-0,02	-0,03	-0,29	0,04	1,00	-0,14	-0,14	-0,11
x27	-0,13	0,41	0,46	0,39	-0,14	1,00	0,45	0,12
x28	-0,05	-0,01	0,28	0,20	-0,14	0,45	1,00	0,27
x29	-0,03	-0,08	0,00	-0,04	-0,11	0,12	0,27	1,00
x30	-0,25	-0,09	0,31	0,20	-0,15	0,02	0,18	0,22
x31	0,10	-0,03	0,03	0,06	-0,14	0,07	0,06	-0,06
x32	-0,05	-0,02	-0,07	-0,08	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03
x33	0,23	-0,09	-0,40	-0,31	0,21	-0,27	-0,35	-0,17
x34	-0,30	0,01	0,38	0,35	-0,14	0,21	0,22	0,27
x35	-0,13	0,01	0,18	0,09	-0,17	-0,05	-0,03	0,02
x36	0,05	-0,08	0,10	0,00	-0,19	-0,11	-0,01	0,10
x37	-0,19	0,11	0,07	0,09	0,04	0,07	-0,02	-0,09
x38	-0,29	0,00	0,36	0,35	-0,12	0,23	0,23	0,27

Продолжение таблицы Д

	x30	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38
n	-0,34	0,37	0,12	-0,01	-0,08	-0,01	-0,11	0,12	-0,08
x1	0,10	0,20	0,03	-0,19	0,14	0,15	0,30	-0,18	0,12
x2	0,10	0,20	0,03	-0,19	0,14	0,15	0,30	-0,18	0,12
x3	0,34	0,36	0,05	-0,75	0,51	0,37	0,17	0,19	0,47
x4	0,35	0,25	0,01	-0,70	0,57	0,28	0,13	0,14	0,55
x5	0,20	0,05	0,01	-0,14	0,39	0,13	-0,02	0,14	0,38
x6	0,17	0,02	0,03	-0,06	0,37	0,15	-0,01	0,16	0,36
x7	-0,08	-0,17	-0,02	0,66	-0,49	-0,10	-0,14	0,06	-0,49
x8	-0,12	-0,23	-0,12	0,44	-0,14	-0,45	-0,22	-0,21	-0,07
x9	-0,19	0,37	0,00	0,02	-0,11	0,10	-0,01	0,10	-0,13
x10	-0,03	-0,16	0,12	0,30	-0,25	-0,29	-0,38	0,13	-0,21
x11	-0,16	0,17	0,10	0,30	-0,30	-0,15	-0,33	0,22	-0,29
x12	0,28	-0,02	-0,01	-0,19	0,21	0,09	-0,03	0,12	0,20
x13	-0,11	-0,17	0,05	0,36	-0,30	-0,42	-0,36	-0,02	-0,25
x14	-0,07	-0,11	0,10	0,34	-0,29	-0,32	-0,38	0,10	-0,25
x15	0,03	-0,28	0,00	0,37	-0,20	-0,40	-0,32	-0,04	-0,14
x16	0,25	-0,29	-0,06	-0,07	0,26	-0,05	0,12	-0,18	0,28
x17	0,22	0,26	0,02	-0,46	0,69	0,25	0,12	0,11	0,67
x18	0,14	0,09	-0,05	-0,18	0,26	0,09	0,04	0,05	0,25
x19	0,08	-0,10	0,04	0,02	0,00	0,03	0,13	-0,12	-0,01
x20	0,18	0,09	-0,01	-0,22	0,34	0,19	0,22	-0,05	0,33
x21	0,37	-0,08	-0,03	-0,15	0,21	0,04	-0,14	0,20	0,21
x22	-0,25	0,10	-0,05	0,23	-0,30	-0,13	0,05	-0,19	-0,29
x23	-0,09	-0,03	-0,02	-0,09	0,01	0,01	-0,08	0,11	0,00
x24	0,31	0,03	-0,07	-0,40	0,38	0,18	0,10	0,07	0,36
x25	0,20	0,06	-0,08	-0,31	0,35	0,09	0,00	0,09	0,35
x26	-0,15	-0,14	-0,01	0,21	-0,14	-0,17	-0,19	0,04	-0,12
x27	0,02	0,07	-0,03	-0,27	0,21	-0,05	-0,11	0,07	0,23
x28	0,18	0,06	-0,03	-0,35	0,22	-0,03	-0,01	-0,02	0,23
x29	0,22	-0,06	-0,03	-0,17	0,27	0,02	0,10	-0,09	0,27
x30	1,00	0,08	-0,04	-0,38	0,41	0,33	0,16	0,15	0,38
x31	0,08	1,00	0,27	-0,29	0,26	0,26	0,12	0,13	0,22
x32	-0,04	0,27	1,00	-0,06	-0,04	0,04	-0,07	0,11	-0,04
x33	-0,38	-0,29	-0,06	1,00	-0,57	-0,33	-0,16	-0,15	-0,54
x34	0,41	0,26	-0,04	-0,57	1,00	0,29	0,17	0,09	0,99
x35	0,33	0,26	0,04	-0,33	0,29	1,00	0,57	0,37	0,15
x36	0,16	0,12	-0,07	-0,16	0,17	0,57	1,00	-0,56	0,09
x37	0,15	0,13	0,11	-0,15	0,09	0,37	-0,56	1,00	0,04
x38	0,38	0,22	-0,04	-0,54	0,99	0,15	0,09	0,04	1,00

*Красным отмечены значимые коэффициенты парной корреляции между показателями

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Видовое разнообразие фитопланктона на глубине 7-9м

Таблица Е.1 — Видовой состав фитопланктона Исаковского водохранилища на глубине 7-9м

№	Отряд	Вид	№	Отряд	Вид
1	2	3	4	5	6
1	Синезеленые	<i>Microcystis aeruginosa</i>	22	Зеленые	<i>Pediasrum simplex</i>
2		<i>Spirulina subtilisima</i>	23		<i>Pediasrum duplex</i>
3		<i>Microcystis pulveria</i>	24		<i>Oocystis Novae Semliae</i>
4		<i>Gompho-sphaeria lacustris</i>	25		<i>Kirchneriella obesa</i>
5		<i>Anabaena flos</i>	26		<i>Ankistrodesmus preadomicabilia</i>
6		<i>Oscillatoria limosa</i>	27		<i>Shoroederia robusta</i>
7		<i>Merismopedia tenuissima</i>	28		<i>Scenedesmus acuminatus</i>
8		<i>Oscillatoria tenuis</i>	29		<i>Scenedesmus microporum</i>
9		<i>Gloeocapsa turgita</i>	30		<i>Scenedesmus quadricanda</i>
10	Диатомовые	<i>Asterionella formosa</i>	31		<i>Crucigenia fenestrata</i>
11		<i>Tabellaria fenestrata</i>	32		<i>Crucigenia tetrapedia</i>
12		<i>Nitzschia sp</i>	33		<i>Scenedesmus bujugatus</i>
13		<i>Fragilaria capucina</i>	34		<i>Chlamydomonas Sp.</i>
14		<i>Girosigma acuminatum</i>	35		<i>Treubaria triappendiculata</i>
15		<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	36		<i>Cosmarium undulatum</i>
16		<i>Cymbella turgida</i>	37		<i>Didymocystis planctonica</i>
20	Желто-зеленые	<i>Triborema minus</i>	41	<i>Trachelomonas volvocina</i>	
21	Зеленые	<i>Tetraedron caudatum</i>	42	<i>Euglena acus</i>	

Таблица Е 2 — Список водорослей — индикаторов сапробности (Вассер, 1989)

№	Отряд	Вид	Показатель сапробности	Сапробный индекс
			s	S
1	Синезеленые	<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75
2	Синезеленые	<i>Spirulina subtilissima</i>	$p-\alpha$	3,6
3	Синезеленые	<i>Microcystis pulveria</i>	$o-\beta$	1,6
4	Синезеленые	<i>Gompho-sphaeria lacustris</i>	β	2
5	Синезеленые	<i>Anabaena flos</i>	β	2
6	Синезеленые	<i>Oscillatoria limosa</i>	$\alpha-\beta$	2,35
7	Синезеленые	<i>Merismopedia tenuissima</i>	$\beta-\alpha$	2,45
8	Синезеленые	<i>Oscillatoria tenuis</i>	α	2,85
9	Синезеленые	<i>Gloeocapsa turgita</i>	o	1
10	Диатомовые	<i>Asterionella formosa</i>	$o-\beta$	1,4
11	Диатомовые	<i>Tabellaria fenestrata</i>	$o-\beta$	1,4
12	Диатомовые	<i>Nitzschia sp</i>	α	2,7
13	Диатомовые	<i>Fragilaria capucina</i>	$o-\beta$	2
14	Диатомовые	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	α	2,7
15	Пирофитовые	<i>Ceratium hirundinella</i>	o	1,5
16	Желто-зеленые	<i>Triborema minus</i>	$\chi-\beta$	1
17	Зеленые	<i>Pediasrum duplex</i>	β	1,7
18	Зеленые	<i>Kirchneriella obesa</i>	β	2
19	Зеленые	<i>Ankistrodesmus preadomicabilia</i>	β	2
20	Зеленые	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	2,2
21	Зеленые	<i>Scenedesmus quadricanda</i>	β	2
22	Зеленые	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	$o-\beta$	1,75
23	Зеленые	<i>Scenedesmus bujugatus</i>	β	2
24	Зеленые	<i>Treubaria triappendiculata</i>	β	2
25	Зеленые	<i>Chlamydomonas Sp.</i>	β	2
26	Зеленые	<i>Didymocystis planctonica</i>	β	2
27	Золотистые	<i>Pseudokephyrion Shilleri</i>	β	2
28	Эвгленовые	<i>Phacus longicauda</i>	$\beta-\alpha$	2,6
29	Эвгленовые	<i>Trachelomonas volvocina</i>	β	2

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**Анкета «Мои предпочтения при выборе места отдыха»**

Таблица Ж — Общие сведения

№	Вопрос	Ответы
<u>1</u>	Укажите Ваш возраст	1. Младше 20
		2. 20-39
		3. 40-59
		4. Старше 60
<u>2</u>	Место проживания:	1. Большой город
		2. Маленький город
		3. ПГТ
		4. Село
<u>3</u>	Где вы предпочитаете отдыхать:	1. Городской парк
		2. Берег водоема
		3. Лес

Для разработки методики оценки водоемов как объектов рекреации, просим Вас ответить на вопросы, касающиеся следующих категорий:

- Качество воды;
- Транспорт;
- Обустройство и комфорт;
- Безопасность и качество берега.

1. При выборе места отдыха, в категории «Качество воды» я выбираю:

1. Прозрачная вода, без водорослей и посторонних запахов;
2. Вода прозрачная, запах природный ощутимый при обращении на это внимания;
3. Вода имеет небольшую цветность, запах отчетливый, плавает незначительное количество растений и взвеси;
4. Вода мутная, есть взвеси, запах существенный;
5. Вода грязная, водоем цветет водорослями, запах затхлый.

2. При выборе места отдыха, в категории «Транспорт» я выбираю:

1. Водоем расположен в городе, к нему ходит рейсовый транспорт, есть автомобильная дорога хорошего качества;
2. Водоем находится в пригороде, есть рейсовый транспорт и хорошие дороги;
3. Водоем далеко за городом, автобусы ездят регулярно, машиной добраться не составляет труда;
4. Водоем далеко от населенных пунктов, рейсовых автобусов нет, дорога не идеальна;
5. Водоем далеко от "цивилизации", рейсовый транспорт не ходит, дорога плохая;

3. При выборе места отдыха, в категории «Обустройство и комфорт» я выбираю:

1. По берегам достаточно обустроенных пляжей, есть базы отдыха, регулярно убираются, рядом магазины и места для развлечения;
2. Пляжи обустроены, мест, где остановиться, нет, магазины в пешей доступности;

3. Пляжи заброшены, за состоянием пляжей следят отдыхающие, магазины есть, но на приличном расстоянии;
4. Есть дикие пляжи, за состоянием пляжа следят сами отдыхающие, магазины далеко;
5. Дикие необустроенные места, все необходимое нужно брать с собой.

4. При выборе места отдыха, в категории «Безопасность и качество берега» я выбираю:

1. Берег песок или галька, обустроен, очищен от стекол и камней, дно мелководья галька или песок, ям и провалин нет, плавное постепенное увеличение глубины;
2. Берег песок или галька, дно мелководья песок или ил, ям и провалин нет, плавное постепенное увеличение глубины;
3. Пляжи сформированы, но заброшены, береговая линия загрязнена остатками водорослей, дно мелководья песок или ил, ям и провалин нет, плавное постепенное увеличение глубины;
4. Старые дикие пляжи, не убрано, дно мелководья илистое, возможны острые осколки;
5. Берег каменистый, поросший травой, дно мелководья каменистое или илистое, возможны ямы, провалины и обрывы.

5. При выборе водоема для отдыха в первую очередь я выберу:

1. Популярный, обустроенный водоем, который находится рядом или до него легко добраться. Понимаю, что вода в нем не будет достаточно чистой;
2. Водоем расположен на внушительном расстоянии, но к нему можно добраться транспортом, есть места для отдыха, вода достаточно чистая;
3. Водоем находится далеко, туда не ходит транспорт. Мест для отдыха как таковых нет, но вода очень чистая.