

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
Институт проблем экологии и недропользования
(обособленное подразделение Государственного научного бюджетного учреждения «Академия наук Республики Татарстан»)

На правах рукописи



БАЙБАКОВА ЕВГЕНИЯ ВАСИЛЬЕВНА

**ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕГИОНАЛЬНОМУ
НОРМИРОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ ВОД В УРБОЭКОСИСТЕМЕ**

1.5.15. Экология

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Научный руководитель:
доктор химических наук, профессор
Тунакова Ю.А.

Казань – 2024

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Литературный обзор.....	12
1.1. Подходы для разработки региональных нормативов	13
1.2. Подходы к разработке нормативов качества с учетом региональных особенностей формирования состава поверхностных водных объектов.....	14
1.3. Подходы к комплексной оценке и классификации природных вод	17
1.4. Репрезентативные показатели для классификации поверхностных вод.....	21
1.5. Использование бассейновых принципов для разработки региональных нормативов качества поверхностных вод и воздействия на них.....	24
1.6. Определение нормативов допустимых сбросов в водные объекты с учетом региональных особенностей водных объектов	26
1.7. Развитие хемотрии и использование хемотрических подходов в мониторинге состояния водных объектов	29
1.8. Возможности применения искусственных нейронных сетей в задачах регионального экологического нормирования.....	31
1.8.1. Обучение нейронных сетей	32
1.8.2. Многослойный персептрон	33
1.8.3. Комплексная оценка с использованием искусственной нейронной сети	34
Глава 2. Объекты, материалы и методы исследования.....	36
2.1. Места пробоотбора поверхностных вод исследуемых водных объектов	36
2.2. Места отбора питьевых вод и контролируемые параметры в питьевых водах	37
2.3. Общая характеристика исследуемых водных объектов	39
2.4. Источники антропогенного воздействия на исследуемые водные объекты.....	42
2.5. Характеристика питьевых вод, приготавливаемых из вод поверхностного водоисточника	43
2.6. Методы химического анализа поверхностных вод исследуемых водных объектов.....	46
2.7. Методы математического анализа	50
2.7.1. Использование методов нейросетевой кластеризации	50
2.7.2. Использование методов математической статистики.....	52
2.8. Характеристика компонентного состава сточных вод предприятия.....	53
2.9. Описание методических подходов исследования	56
Глава 3. Классификация поверхностных вод и определение региональных пороговых значений гидрохимических показателей.....	60

3.1. Описание метода определения региональных пороговых значений гидрохимических показателей в поверхностных природных водах	60
3.2. Проведение вычислительных экспериментов	63
3.3. Выделение классов поверхностных вод и классифицирующих показателей	71
3.4. Статистическая характеристика и межкластерная оценка гидрохимических показателей	74
Глава 4. Способ комплексной оценки загрязненности поверхностных вод с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды	78
4.1. Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод с использованием региональных пороговых концентраций.....	78
4.2. Обоснование показателя для комплексной оценки питьевых вод.....	81
Глава 5. Методика расчета нормативов допустимого сброса сточных вод предприятия с учетом региональных особенностей водных объектов	89
Заключение.....	97
Список сокращений и условных обозначений	99
Список литературы.....	102
Приложение 1. Основные методические подходы к региональному нормированию качества поверхностных вод	130
Приложение 2. Формирование гидрохимических показателей речных вод	131
Приложение 3. Территориальные и гидрологические характеристики исследуемых рек РТ	136
Приложение 4. Особенности физико-географических условий на территории исследования.....	138
Приложение 5. Гидрохимические особенности исследуемых водных объектов	141
Приложение 6. Массы загрязняющих веществ, отводимых в р. Волгу и р. Каму со сточными водами	142
Приложение 7. Сравнительная характеристика методов определения гидрохимических показателей в исследуемых водных объектах	143
Приложение 8. Диапазоны значений гидрохимических показателей исследуемых водных объектов за исследуемый период	148
Приложение 9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ...	150
Приложение 10. Кластерное распределение исследуемых водных объектов по точкам отбора	151
Приложение 11. Графические SOM-карты, отражающие распределение содержания исследуемых показателей в природных водах	159

Приложение 12. Полный спектр оценочных показателей расчета УКИЗВ по ПДК _{р/х} для выделенных классов поверхностных вод	163
Приложение 13. Полный спектр оценочных показателей расчета УКИЗВ с учетом пороговых значений для выделенных классов поверхностных вод	166
Приложение 14. Справка о диссертационной работе	169
Приложение 15. Акт об использовании результатов диссертационной работы	170
Приложение 16. Акт о внедрении результатов диссертационной работы.....	171

Введение

Актуальность работы связана с несколькими аспектами. Во-первых, пространственная неоднородность химического состава поверхностных вод является неоспоримым аргументом в пользу развития системы нормирования с учетом региональных особенностей. Предельно допустимые концентрации химических веществ (ПДК), установленные на общегосударственном уровне, часто ниже фоновых концентраций для нормируемых загрязняющих веществ в сточных водах, что, в конечном итоге, приводит к некорректному установлению нормативов допустимых сбросов (НДС) и снижению эффективности водоохранной деятельности в целом. Во-вторых, часто водные объекты урбанизированных территорий являются одновременно источниками питьевого водоснабжения и приемниками сточных вод. Антропогенный привнос загрязняющих веществ со сточными водами является одним из значимых факторов формирования качества поверхностных вод урбоэкосистемы. Необходимость разработки взаимоувязанной системы региональных нормативов обусловлена естественной тесной связью водных элементов урбоэкосистемы: «природные воды - питьевые воды - сточные воды - очищенные сточные воды - природные воды». Система региональных нормативов и показателей качества вод урбоэкосистемы, выстроенная с применением единых подходов, необходима для повышения эффективности управления водопользованием. В-третьих, в условиях цифровизации отрасли водопользования, разработка региональных нормативов с использованием хемометрических подходов позволяет выявлять региональные природно-антропогенные особенности при анализе массивов экспериментально полученных гидрохимических данных о составе природных вод, что, в свою очередь, расширяет возможности хемометрии.

Степень разработанности. Выявленные региональные природно-антропогенные отличия химического состава вод урбоэкосистемы дают исчерпывающее обоснование необходимости разработки региональных нормативов качества для природных водных объектов [Кузьмич и др., 2013; Левич, 2011; Лазарев, 2022; Лепихин, Мирошниченко, 2002; Лепихин и др., 2015; Никаноров, 2013; Носаль, 2004; Янин, 2012 и др.]. Многие специалисты выступают с конструктивной критикой действующего подхода обоснования нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ (НДС), отмечая, что при обосновании пределов антропогенного воздействия на водные экосистемы применяются недостаточно обоснованные требования, что является одной из основных причин неудовлетворительного состояния поверхностных вод [Гагарина, 2010; Иванов, 2018; Моисеенко, 2009; Мусихина, Черезова, 2009; Селезнев, Селезнева, 2013 и др.]. Однако, отсутствие общепринятого представления об особенностях учета региональных природных и антропогенных факторов, формирующих

состав природных вод, препятствует созданию единой и общепринятой методологии регионального нормирования.

В работе подчеркивается необходимость цифровой трансформации отрасли водопользования, что требует развития расчетных методов и информационных технологий, которые представляют собой основные инструменты хеометрии, для регионального нормирования вод урбоэкосистемы.

Целью работы является создание новых хеометрических подходов к формированию системы региональных нормативов и показателей качества, а также предельных величин допустимых воздействий на природные воды урбоэкосистемы.

Задачи, решаемые в работе:

1) Выделение классифицирующих показателей и классификация поверхностных вод Волжско-Камского бассейна в пределах Республики Татарстан по совокупности гидрохимических показателей, обоснование значений региональных пороговых концентраций;

2) Модификация способа расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод на основе региональных пороговых концентраций;

3) Разработка показателя для оценки гидрохимического состава питьевых вод (гидрохимический статус), приготавливаемых из вод поверхностного водоисточника, как водного элемента урбоэкосистемы, с определением интервала перехода от приемлемого уровня риска к опасному;

4) Разработка методики расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ, с учетом региональных особенностей водного объекта, с апробацией для предприятия химической отрасли промышленности.

Научная новизна:

1) Разработан способ хеометрической классификации поверхностных вод урбоэкосистемы с применением нейросетевого кластерного, факторного анализа и экспертной оценки для выявления природно-антропогенных особенностей формирования их химического состава. Установлены диапазоны значений региональных пороговых концентраций основных и вспомогательных классифицирующих гидрохимических показателей для выделения классов поверхностных вод.

2) На основании установленных региональных пороговых концентраций модернизирован способ расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод, для устранения завышения или занижения его значений за счет учета природных и антропогенных особенностей, корректирующих результаты оценки классов качества поверхностных вод.

3) Впервые предложен показатель, гидрохимический статус, для комплексной оценки питьевых вод, как водного элемента урбоэкосистемы, объединяющий санитарно-гигиенические и экологические подходы для характеристики их качества, сопоставленный с уровнями экологического риска, для определения интервала перехода от приемлемого уровня загрязненности к опасному и классов качества питьевых вод.

4) Разработана методика расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ для сточных вод урбоэкосистемы с применением обоснованных региональных пороговых концентраций, позволяющая в целом снижать антропогенное воздействие на водный объект за счет применения более жестких нормативов допустимого сброса в отношении загрязняющих веществ преимущественно антропогенного происхождения, и предъявлять более обоснованные, с точки зрения региональных особенностей, требования к водопользователям.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в расширении возможностей хемотрии в части разработки подходов к оценке качества и регионального нормирования природных вод в урбоэкосистеме на базе массивов гидрохимических данных, с применением современных расчетных методов и информационных технологий. Результаты проведенных исследований изложены в монографии «Региональное нормирование природных вод в урбоэкосистеме».

Практическая значимость работы заключается в том, что установленные диапазоны пороговых концентраций классифицирующих гидрохимических показателей поверхностных вод могут применяться для экологического мониторинга и расчета нормативов допустимых сбросов в регионе. Разработанный способ расчета региональных пороговых концентраций и компьютерная программа, позволяют относить пробу воды поверхностного водоисточника Волжско-Камского бассейна к одному из выделенных классов вод. Полученные результаты предназначены для цифровой трансформации управления водопользованием и переданы в Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан (справка об использовании результатов диссертационной работы). Способ и результаты оценки составов поверхностных вод в районе г. Казани используются в практической деятельности ОАО «Казанский завод синтетического каучука» (ОАО «КЗСК») (акт использования результатов расчета фоновых концентраций и региональных пороговых концентраций для оценки уровня негативного воздействия сточных вод предприятия в отношении веществ двойного генезиса).

Теоретическую и практическую значимость работы подчеркивает то, что научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашениям №075-03-2023-032 от 16.01.2023 г и №075-03-2024-067 от 17.01.2024 г. (номер темы FZSU-2023-0005).

Материалы диссертации внедрены в учебный процесс Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева-КАИ для подготовки бакалавров по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» при изучении дисциплин «Прикладная экология», «Экологический мониторинг и производственный экологический контроль» (акт о внедрении результатов диссертационной работы в образовательный процесс КНИТУ-КАИ). Материалы диссертационной работы использованы при подготовке учебных пособий «Прикладная экология» и «Экологический мониторинг и производственный экологический контроль».

Методология и методы исследования. Работа разделена на четыре взаимосвязанных блока:

1) получение и обработка результатов химического анализа вод урбоэкосистемы с формированием баз данных гидрохимических показателей природных вод и приготавливаемых из них вод питьевого качества; классификация поверхностных вод по гидрохимическим показателям с применением разработанной компьютерной программы «Программа многоуровневой нейросетевой классификации гидрохимических данных с нечеткими элементами на основе экспертного оценивания» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616050);

2) оценка качества поверхностных вод с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) с применением региональных пороговых концентраций (РПК);

3) обоснование показателя гидрохимический статус (ГХ-статус) для оценки качества питьевых вод, как водного элемента урбоэкосистемы;

4) разработка методики расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ с применением обоснованных РПК.

Методическая часть работы включала работу с литературными и статистическими данными, изучение проектных документов предприятия, нормативных и правовых актов в области нормирования качества природных вод и антропогенного воздействия на них, отбор проб, пробоподготовку, химический анализ и обработку результатов анализа.

Отбор проб воды из поверхностных водных объектов, питьевых вод, производственных сточных вод производился в соответствии с требованиями актуальных ГОСТ и РД. Химико-аналитические исследования поверхностных, питьевых и сточных вод проводились в специализированных лабораториях кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), лаборатории биогеохимии Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), лабораториях Министерства экологии и

природных ресурсов РТ (МЭПР РТ). Исследования выполнены (с участием диссертанта) с использованием современных методов анализа, в том числе, рекомендуемых для государственного экологического контроля. Результаты измерений интегрировали в электронную базу данных в формате Microsoft Excel 2010. При определении РПК использованы инновационные методы искусственного интеллекта. Для классификации массивов гидрохимических данных использовался алгоритм на основе самообучающихся нейронных сетей Кохонена с последующей двумерной визуализацией SOM-картами. Статистическую обработку данных проводили с применением программного пакета Statistica 10 в комплекте поставки «Automated Neural Networks + DataMiner». Проектные данные для расчета нормативов допустимого сброса получены на ОАО «Казанский завод синтетического каучука».

Объекты исследования: химический состав поверхностных вод Волжско-Камского бассейна, сточные воды предприятия ОАО «Казанский завод синтетического каучука», питьевые воды из централизованной системы водоснабжения г. Казани, приготавливаемые из поверхностных вод.

Предмет исследования: нормативы качества и воздействия для вод урбоэкосистемы.

Положения, выносимые на защиту:

1) Региональная классификация поверхностных вод и значения региональных пороговых концентраций классифицирующих гидрохимических показателей Волжско-Камского бассейна, обоснованные на массивах результатов гидрохимических измерений, многомерном нейросетевом кластерном, факторном анализе и экспертной оценке.

2) Модификация способа расчета УКИЗВ путем учета природно-антропогенных особенностей гидрохимических составов поверхностных вод, позволяющего устранить завышение или занижение значений для веществ двойного генезиса для управления водопользованием в регионе.

3) Показатель гидрохимический статус питьевых вод, предложенный для оценки их гидрохимического состава, увязанный с уровнем экологического риска и величиной УКИЗВ, рассчитанных для вод поверхностного источника водоснабжения.

4) Методика расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ в водный объект, апробированная для предприятия химической отрасли промышленности, основанная на учете региональных особенностей водного объекта и обеспечении сохранения класса качества поверхностных вод после отведения сточных вод.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.5.15. Экология согласно: п.3. Научное обоснование, разработка и совершенствование методов проектирования технико-технологических систем и нормирования

проектной и изыскательской деятельности, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия на живую природу химической и нефтегазовой отрасли.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается массивом полученных результатов измерений химического состава вод урбоэкосистемы, применением актуальных, рекомендуемых для государственного контроля физико-химических методов анализа, применением современного аналитического оборудования в специализированных лабораториях, использованием общепринятых методов статистической обработки результатов, лицензионных компьютерных программ для статистической обработки данных, применением инновационных информационных технологий, экспертной оценки. Полученные значения погрешности измерений при воспроизводимости результатов не выходят за пределы допустимых.

Апробация результатов работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 14 международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях: XX-XXII Международной научной конференции «Химия и инженерная экология» (школа молодых ученых) (Казань, 2021; Казань, 2022; Казань, 2023); на 63 Всероссийской научной конференции Московского физико-технического института (Москва, 2020); Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения» (Казань, 2023); Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» (Казань, 2021); на III Международной научно-технической интернет конференции «Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика» (Уфа, 2021); на Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)», посвященной 60-летию со дня осуществления первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (Казань, 2021.); на Национальной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Санкт-Петербург, 2022.); на 12-ой Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов Казанские научные чтения студентов и аспирантов (Казань, 2022.); на Всероссийской научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету» (Волгоград, 2023); на Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» (Белгород, 2023).

Личный вклад автора. Автору принадлежит основная роль в проведении лабораторных исследований, анализе и обобщении полученных данных, разработке и апробации методики

расчета нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ. Постановка задач, планирование экспериментов, формулирование выводов, подготовка научных статей осуществлены совместно с научным руководителем. Автор приносит благодарность научному руководителю, д.х.н., профессору Ю.А. Тунаковой за научное руководство и помощь в подготовке диссертации к защите, коллегам: д.т.н., профессору КНИТУ-КАИ С.В. Новиковой, сотрудникам ИПЭН АН РТ д.х.н. Р.А. Шагидуллиной, д.г.н. Д.В. Иванову, с.н.с. В.С. Валиеву за помощь в проведении исследований и ценные рекомендации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 научные работы, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по специальности, в том числе 2 в журнале, входящем в международные базы данных Scopus и WoS, 1 статья в другом рецензируемом научном издании из перечня ВАК Минобрнауки России, 1 статья в научном журнале, входящем в международные базы данных и системы цитирования Scopus и WoS, 17 публикаций в сборниках материалов и тезисов Международных и Всероссийских научных конференций, 1 авторское свидетельство (№ 2024616050/ 15.03.2024) на программу многоуровневой нейросетевой классификации гидрохимических данных с нечеткими элементами на основе экспертного оценивания.

Структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 31 рисунок и 20 таблиц, состоит из введения, 5 глав, заключения, 16 приложений. Библиографический список включает 311 источников, в т.ч. 53 зарубежных авторов.

Глава 1. Литературный обзор

Под урбоэкосистемой понимают динамически-неравновесную природно-антропогенную систему, состоящую из разнообразных источников антропогенных воздействий и интенсивно нарушенных естественных экосистем. Особенности урбоэкосистемы проявляются в таких характеристиках, как полиморфность, сверхоткрытость, зависимость, аккумулятивность, неравновесность. Воды урбоэкосистемы представлены поверхностными, подземными водами и образующимися из них водами питьевого качества и сточными водами [73; 114]. Водные элементы урбоэкосистемы связаны за счет переноса компонентов в системе «природные воды - питьевые воды - сточные воды - очищенные сточные воды - природные воды».

Поверхностные воды являются сложным объектом для регионального нормирования по нескольким причинам:

- во-первых, цели использования водных объектов отличаются, поэтому требования к качеству поверхностных вод будут различны;
- во-вторых, состав поверхностных вод подвержен естественным природным изменениям, в том числе сезонным;
- в-третьих, в поверхностных водах присутствуют вещества двойного генезиса, которые определяют состав вод, будучи как природного, так и антропогенного происхождения.

Поверхностные воды можно охарактеризовать как многокомпонентные, чрезвычайно динамичные системы открытого типа, для учета природно-антропогенных особенностей которых необходимо привлечение современных методов химического и математического анализа, инновационных информационных технологий, системного подхода.

Состав природных поверхностных вод формируется под влиянием многочисленных природных и антропогенных факторов. Главными факторами природного происхождения, которые определяют состав природных вод, являются: гидрохимические (кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, химические свойства элементов, катионный обмен и смешение вод и др.), физико-географические (климатические особенности, состав почвенного покрова, особенности рельефа и др.); геологические (состав горных пород, тектоническое строение); биологические (видовой состав и численность организмов водных экосистем, особенности развития видов) [47; 115; 67]. Количественный учет всех факторов, определяющих качество поверхностных вод, остается до сих пор трудной задачей. Но анализ гидрохимических показателей позволяет в большей степени учесть природные и антропогенные особенности составов природных вод, что важно при разработке стратегий водопользования и мер по регулированию антропогенного воздействия на природные поверхностные воды.

Согласно действующему водному законодательству, для оценки степени загрязнения поверхностных вод используются нормативы качества. Качество поверхностных вод принято

оценивать с позиций водопользования. Требования, предъявляемые к качеству поверхностных вод разными водопользователями, различны и нередко противоречивы. Поэтому большое значение имеет разработка подходов по определению региональных нормативов именно для поверхностных вод.

1.1. Подходы для разработки региональных нормативов

В настоящее время санитарно-гигиеническое нормирование является регламентированной методологией оценки качества объектов окружающей среды и ограничения антропогенной нагрузки. Недостатки системы санитарно-гигиенического нормирования послужили причиной и отправной точкой для экологизации подходов для разработки нормативов. Модернизация системы санитарно-гигиенического нормирования невозможна без стройной, научно-обоснованной методологии. Разработка такой методологии включает выбор информативных показателей, способов свертывания информации, обоснования применяемых методов математического моделирования, информационных технологий и т.д.

Основные методические подходы в области нормирования, оценки качества поверхностных вод и антропогенного влияния на водные объекты в ретроспективе лет приведены в приложении 1. Анализ существующих методических подходов к разработке нормативов качества воды позволил выделить их в несколько групп:

- 1) Статистический подход. Под нормативом понимается некоторый интервал варьирования значений, обычно «среднее \pm мера варьирования».
- 2) Эмпирический подход. Норматив разрабатывается при проведении масштабных экспериментов.
- 3) Экспертный подход. Проводится дополнительная экспертная оценка результатов статистического оценивания специалистом предметной области [35; 174; 192].

На первоначальном этапе, для встраивания в регламентированную систему нормирования, целесообразна разработка подходов для экологизации санитарно-гигиенических нормативов. Так, одними из основоположников эколого-гигиенического основания для нормирования являются Г.И. Сидоренко и Н.Н. Литвинов [209]. Можно выделить методические подходы, которые объединяют разные подходы в экологическом нормировании:

- нормативы устанавливаются для отдельных веществ, определяемых как вредные, в отношении которых действуют меры государственного регулирования;
- основой для разработки нормативов являются результаты экспериментальных исследований;
- критерии оценки задаются исходя из особенностей объекта нормирования.

Можно предложить следующие основные положения для экологизации санитарно-гигиенических нормативов:

- определение нормативов может быть реализовано только при анализе существующих условий функционирования объектов нормирования;
- разрабатываемые нормативы должны носить региональный характер;
- для нормирования необходимо выбрать максимально информативные, отражающие закономерности функционирования объектов нормирования показатели [8; 33; 73; 74; 86; 97; 91; 101; 220].

Следует отметить, что не каждое отклонение от нормы и не каждого показателя может быть определено как вредное. Вполне логично, что на территориях с различным содержанием того или иного компонента (т.е. в биогеохимических провинциях) могут иметь место значительные изменения химического состава объектов окружающей среды [193]. Основным методическим вопросом при модернизации системы нормирования является обоснование пороговых значений репрезентативных оценочных показателей.

1.2. Подходы к разработке нормативов качества с учетом региональных особенностей формирования состава поверхностных водных объектов

В настоящее время для целей оценки качества природных вод применяются два вида предельно допустимых концентраций (ПДК):

- предельно допустимые концентрации гидрохимических показателей для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_в) [46; 168];
- предельно допустимые концентрации гидрохимических показателей для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{р/х}) [111; 134; 163].

Обеспечение концентрации загрязняющего вещества в поверхностных водах соответствующей ПДК еще не свидетельствует о безопасности воздействия данного вещества для организмов водных экосистем.

ПДК_в предназначены для обеспечения безопасных условий водопользования для человека, а не для сохранения водных экосистем. ПДК_{р/х} более обоснованы с экологической точки зрения по сравнению с ПДК_в, которые имеют чисто антропоцентрическое основание, но и при их обосновании есть недостатки. В частности, величины ПДК_{р/х} определяются в лабораторных условиях с использованием ограниченного числа видов тест-объектов (в реальных водных экосистемах видов значительно больше), при этом учитывают ограниченный набор ответных реакций водных организмов на внешнее воздействие. Значения ПДК_{р/х} для веществ установлены при индивидуальных влияниях, однако совокупное воздействие нескольких загрязняющих веществ не эквивалентно сумме последствий их индивидуальных

влияний [14; 15]. Еще одним основанием для критики ПДК_{р/х} является слабое соотнесение значение ПДК_{р/х} с категориями водных объектов в зависимости от их ценности рыбопромыслового значения [138; 255].

Другим серьезным недостатком действующей системы санитарно-гигиенического нормирования является использование одинаковых в пределах всей территории РФ значений ПДК, которые зависят от вида водопользования. Нормы ПДК, не только не учитывают индивидуальные природно-антропогенные особенности водных объектов, но нередко являются завышенными, особенно, в отношении веществ двойного генезиса, что приводит к некорректному установлению нормативов воздействия [59; 83; 218].

В работе [255] изложены результаты исследований природно-антропогенных отличий химического состава природных вод, и дается исчерпывающее обоснование необходимости разработки региональных нормативов качества для поверхностных водных объектов. Авторы показали, что наличие гидрогеохимических провинций является неоспоримым аргументом в пользу развития системы нормирования с учетом региональных аспектов. Гидрогеохимические провинции могут быть связаны с веществами, определяющими общую жесткость и перманганатную окисляемость, а также бромид-ионами, кремнием, литием, стронцием, натрием. Авторы указывают слабую изученность гидрогеохимических провинций в России. Результаты исследований, отражающие пространственную и временную изменчивость составов вод, представлены в многочисленных работах (приложение 2) [18; 38; 41; 69; 75; 79; 234].

Авторы отмечают, что использование единых и стандартных величин ПДК не соответствует требованиям настоящего времени [34; 39; 236; 249], что нашло отражение в новых рекомендациях по разработке ПДК_{р/х}. [178].

Критика существующего санитарно-гигиенического нормирования стала толчком к разработке первых методических указаний, применяемых для разработки ПДК_{р/х} с учетом региональных особенностей гидрохимических составов вод водных объектов. Так, в 2009 году были изданы методические указания для определения ПДК_{р/х} с учетом природных особенностей водных объектов [110]. Согласно п.7 данных указаний, региональные ПДК_{р/х}, необходимо разрабатывать для химических веществ естественного происхождения геохимических провинций, обеспечивающих высокие или низкие значения гидрохимических показателей и для техногенных аналогов природных веществ, сброс которых требует учета специфики водного объекта, принимающего стоки и особенностей водосборной территории. К таким веществам относятся вещества, способные повышать сапробность и эвтрофность природных вод (соединения биогенных элементов, легко утилизируемые органические соединения), изменять минерализацию, рН, концентрацию взвешенных веществ природного происхождения и содержание гуминовых кислот и их комплексов. Принятие решения о разработке нормативов с

учетом региональных особенностей состава природных вод осуществляется при наличии доказательной базы, содержащей результаты сравнения концентраций со средними концентрациями, а также результаты интегральных показателей качества исследуемых вод. Критерием аномальности естественного уровня (кларка) содержания нормируемого вещества может служить достоверное отличие его (при уровне $p < 0,5$) от среднего содержания в поверхностных водах в межливневый период года 95 % обеспеченности. В то же время разработка и региональных нормативов, базирующаяся на общепринятом подходе, имеет много трудно решаемых вопросов, одним из которых является обоснование границ действия региональных нормативов в пределах как одного водотока, так и нескольких. С точки зрения практики применения региональных нормативов границы территории, для которой предлагается величина норматива, должны быть определены наиболее точно. При этом сами региональные нормативы определяются с использованием тест-объектов, предусмотренных методическими указаниями, которые культивируются в местной воде. Отметим, что данный подход имеет множество недостатков, таких как сложность, высокая стоимость реализации и невозможность учесть все сложные трофические и иные связи в пресноводной экосистеме, что ограничивает его использование.

В настоящее время в практике гидрохимической оценки и охраны природных вод нет единых методических подходов к разработке региональных нормативов. Проблема состоит в том, что отсутствует методология их определения для поверхностных водных объектов, способная обоснованно ответить на ключевой вопрос, возникающий в практике разработки региональных нормативов – какой принцип взять за основу определения пороговых значений, отражающих условия формирования местных гидрохимических особенностей. Можно сформулировать основные рекомендации, для определения значений региональных нормативов [99; 120; 126; 215; 239; 273; 275; 277]:

- особое внимание должно уделяться обоснованию наиболее информативных показателей, всесторонне характеризующих состояние исследуемого водного объекта;
- необходимо разделить территорию на участки с относительно однородными условиями формирования гидрохимического режима [21];
- по данным наблюдений осуществить классификацию природных вод по репрезентативным показателям;
- для выделенных классов установить региональные пороговые концентрации.

Однако, в настоящее время, для поверхностных водных объектов, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию [254], не обоснованы подходы для выделения региональных отличий формирования химического состава вод. Классификация по

гидрохимическим особенностям формирования их составов и уровню загрязненности является первоочередным этапом в процедуре разработки региональных нормативов.

1.3. Подходы к комплексной оценке и классификации природных вод

Многообразие химического состава природных вод является основанием их систематизации и классификации. Любая классификация необходима для получения более глубоких знаний о закономерностях функционирования объектов и процессах, происходящих в них [104; 235]. По существу, классификация природных вод является инструментом, который позволяет проводить территориально-дифференцированные исследования гидрохимических особенностей различных водных объектов более эффективно.

Одним из первых подходов для классификации природных вод предложил В.И. Вернадский. В своей работе «История природных вод» он не только выделил факторы формирования составов природных вод, но и предложил свою классификацию природных вод в зависимости от неоднородности химического строения литосферы [31]. Примечательно, что автор для классификации природных вод использовал следующую схему: группа минералов – семейства – подцарства – царства. В подцарстве природных вод ученый выделил 16 семейств и 64 типа вод, различающихся химическим составом. По мнению автора, по мере дальнейших исследований общее количество типов вод должно быть увеличено до 1500. Классификации поверхностных вод лежат в основе их использования как источников водоснабжения [105; 106]. В.И. Вернадский отмечал, что исследования поверхностных вод суши в зависимости от их химического состава должны вестись ускоренными темпами, т.к. эта информация имеет огромное практическое значение. Это утверждение актуально и в наше время. Создание системы классификации поверхностных вод необходимо для развития системы экологического нормирования в России, ввиду ее большой протяженности и, соответственно, неоднородности геологического строения и геохимического состава.

Показатели, на основании которых проводится классификация поверхностных вод, могут быть разными. Одним из показателей, являющихся основным для классификации природных вод, является величина минерализации. К примеру, в классификации С.А. Зернова, поверхностные воды делятся на следующие группы:

- почти несоленые (<0,01 %),
- пресные (0-0,5 %),
- солоноватые (0,5-16 %),
- соленые (морские) (16-47 %),
- рассольные (> 47 %) [70].

Позднее С.М. Драчев [62] разработал классификацию, в основе которой лежит содержание растворенного в воде кислорода (O_2), величина окисляемости, концентрация азота (аммонийного) и значения некоторых других показателей. Согласно предложенной классификации, качество поверхностных вод подразделялось на шесть основных классов, которые предусматривают и промежуточные градации, что позволяет устранять неопределенность классификации поверхностных природных вод, находящихся на границе двух классов.

Следующим важным этапом развития классификаций поверхностных вод стала классификация, разработанная В.Н. Жукинским с соавторами [65]. Особенностью предложенной классификации стало включение в классификационные критерии гидробиологических показателей. Рассмотренные выше классификации предназначены для поверхностных природных вод, состав которых имеет постоянные ионные отношения. Но при классификации поверхностных вод, находящихся под техногенным воздействием и имеющих переменный состав, такой подход некорректен.

Значительным развитием подходов для классификации поверхностных вод явился учет соотношения между ионами. Наиболее используемой является классификация, разработанная еще в первой половине прошлого века О.А. Алекиным [3]. Классификация применима для поверхностных вод с минерализацией до 50 г/л. В качестве классификационного критерия О.А. Алекин использовал преобладающий в речных водах анион. По этому признаку автор выделил три класса вод – с преобладанием карбонат-ионов (CO_3^{2-}), с преобладанием сульфат-ионов (SO_4^{2-}) и хлорид-ионов (Cl^-). В свою очередь в каждом классе, автором выделены три группы поверхностных вод по преобладающему катиону (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+). Используя в качестве классификационного критерия соотношение между щелочностью (OH^-) и общей жесткостью ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + H^+$), автором выделены в каждой из групп 4 типа вод:



Но и классификация О.А. Алекина имеет свои недочеты. Во-первых, она не показывает особенности каждого выделенного класса воды (например, концентрации растворенных CO_2 и O_2 и т. п). Во-вторых, данная классификация характеризуется отсутствием четкой территориальной привязки и, как следствие, не учитывает особенности химических, физических и биохимических процессов, протекающих в конкретном водном объекте. Хотя О.А. Алекин [4], учитывая, что в классификации В.И. Вернадского «вода рассматривается как

минерал, находящийся в различных физических состояниях», отмечал, что помимо гидрохимических показателей в классификацию нужно включать территориальные основания.

Известны классификации, вошедшие в 1982 году в состав «Единых критериев качества вод», которые разработали структуры, осуществляющие регулирование водохозяйственной и водоохранной деятельности в пределах разных государств. Однако данные классификации основаны на заниженных требованиях к качеству природных поверхностных вод [136].

Следующим этапом развития научных подходов к классификации поверхностных вод стало развитие классификаций на основе комплексных показателей, которые представлены в многочисленных публикациях [43; 44; 82; 237].

Во многих способах расчета комплексных показателей качества поверхностных вод используется среднее арифметическое значение концентраций загрязняющих веществ, полученное за определенный интервал времени. Однако, такой подход имеет множество недостатков, в частности, не учитываются возможные отклонения фактических значений показателей от средних. Некоторые авторы отмечают, что подход, основанный на применении средних значений концентраций, не учитывает корреляцию между содержанием вредных веществ и водностью рек [82].

Еще одним актуальным вопросом при комплексной оценке качества поверхностных вод являются отличия в оценках для вод с разной степенью загрязненности. В частности, В.А. Зубарев отмечает, что некоторые методы оценки дают различные результаты в сильно загрязненных водах и в менее загрязненных [71].

До 2006 г. в системе Росгидромета для целей комплексной (интегральной) оценки качества природной воды использовались классы качества воды, устанавливаемые по величине индекса загрязненности воды (ИЗВ). ИЗВ показывает среднюю долю превышения ПДК по жестко ограниченному числу показателей (по 6 показателям). Отметим, что были установлены ограничения в использовании ИЗВ. По величине ИЗВ вода могла быть отнесена к одному из семи типов: от очень чистой до чрезвычайно грязной [37]. Преимуществом использования ИЗВ перед другими комплексными показателями является простота расчетов. К недостаткам можно отнести ограниченность в применении, поскольку ИЗВ можно было использовать для водных объектов сходного типа, отнесенных к одной биогеохимической провинции [40].

Развитием подходов к комплексной оценке качества поверхностных вод [63] является комбинаторный индекс загрязнения воды (КИЗ). При расчете КИЗ в сравнении с ИЗВ, кроме кратности превышения ПДК, учитывается еще частота превышения ПДК. Выделяют четыре класса качества воды: слабозагрязненная, загрязненная, грязная, очень грязная. В третий и четвертый классы авторы вводят разряды качества. Эта методика требует обработки большого объема экспериментальных исследований, что усложняет комплексную оценку качества

поверхностных водных объектов по уровню загрязненности, но делает ее результат оценки более объективным. Основным недостатком этого комплексного показателя авторы называют различные значения КИЗ при использовании разного набора показателей. Чем больше показателей включают в расчет, тем, как правило, согласно полученному показателю КИЗ, качество воды хуже, подчеркивает автор в [40].

В 2002 году с принятием РД 52.24.643-2002 были введены в практику комбинаторный индекс загрязненности воды (КИЗВ) и удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) с критическими показателями загрязненности воды (КПЗ). Значение УКИЗВ может варьировать от 1 до 16 [186]. Чем выше уровень загрязнения воды в пункте наблюдения, тем больше значение УКИЗВ.

Классификация загрязненности поверхностных вод по значению УКИЗВ позволяет оценить степень загрязненности воды одновременно по широкому перечню загрязняющих веществ и гидрохимических показателей [125]. УКИЗВ позволяет оценить набор значений репрезентативных показателей комплексно. Неоспоримым преимуществом методики расчета УКИЗВ является возможность ее применения для оценки степени загрязненности вод даже при ограниченном наборе гидрохимических показателей.

Документ «Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей» [175] стал дополнением и расширением подходов, заложенных [186]. Для оценки состояния поверхностных водных объектов согласно [175] используются следующие показатели: класс качества воды, определенный с использованием УКИЗВ, класс качества воды, определенный в соответствии с Директивами Европейского Союза; наличие и содержание токсичных веществ, концентрации которых подлежат нормированию в водных объектах рыбохозяйственного назначения; степень загрязнения донных отложений; биологическое потребление кислорода (БПК₅), коэффициент донной аккумуляции; содержание O₂; содержание биогенных элементов (различных форм азота и фосфора), взвешенных веществ и рН. Следует отметить, что данный нормативный документ из-за требования учитывать большой набор показателей, не определяемых в полном объеме в системе государственного экологического мониторинга природных водных объектов, имеет ограниченное применение.

В этом плане преимущества имеет УКИЗВ, который рассчитывается с применением данных регионального мониторинга состояния поверхностных водных объектов. Расчет УКИЗВ не только учитывает вклад отдельных показателей при определении уровней загрязненности природных вод, но и масштабирует веса этих показателей при комплексной оценке. Основная критика применения УКИЗВ связана со способом его определения. Оценка качества поверхностных вод с использованием УКИЗВ дает не всегда объективный результат по

нескольким причинам: во-первых, расчет УКИЗВ идет по ограниченному набору показателей. Во-вторых, при расчете УКИЗВ применяются пороговые значения ПДК_{р/х} и ПДК_в, обоснованные без учета природно-антропогенных особенностей составов поверхностных вод. К примеру, во многих регионах РФ фоновое содержание ряда ионов меди, железа, цинка, нередко и соединений азота, а также других компонентов в поверхностных водных объектах превышает ПДК_{р/х} и ПДК_в. Тем не менее, по значениям УКИЗВ такие водные объекты относятся к категории вод с высоким и очень высоким уровнем загрязненности [255].

Несмотря на разнообразие комплексных показателей – продолжается развитие подходов к комплексной оценке загрязненности поверхностных водных объектов [43].

Комплексная оценка должна обеспечить возможность ее применения для различных водных объектов, с учетом их природно-антропогенных особенностей в разные временные периоды, а также возможность выявления гидрохимических и иных показателей, вносящих главный вклад в отличие составов поверхностных вод.

Алгоритм осуществления комплексной оценки включает требования к массиву данных гидрохимических наблюдений, методику их совокупного анализа, и градации значений учитываемых показателей.

Комплексная оценка качества поверхностных водных объектов по значительному количеству показателей весьма трудоемка. Экспериментальные исследования в пределах всего речного бассейна приводят к формированию обширного банка данных по широкому перечню показателей. Более обоснованным подходом к оценке загрязненности поверхностных вод является применение набора репрезентативных показателей. По данному подходу опубликовано множество научных трудов, но, до сих пор нет универсальной методики выбора репрезентативных показателей.

1.4. Репрезентативные показатели для классификации поверхностных вод

В настоящее время важную роль играет наукоемкое обоснование подходов для определения ограниченного числа репрезентативных показателей, применение которых позволяет получить объективную и полную характеристику качества поверхностных водных объектов. Выделение репрезентативных показателей должно обеспечить обнаружение загрязнения, связанного со сбросом промышленных и иных сточных вод. На наш взгляд, перечень репрезентативных показателей необходимо формировать исходя из перечня веществ, поступающих в водный объект, а также из целей оценки качества поверхностных природных вод [224].

В перечень репрезентативных показателей целесообразно включить такие гидрохимические показатели, которые позволят выявить природно-антропогенные особенности водных объектов:

1) биологическое потребление кислорода (БПК₅) – характеризует суммарное содержание растворенных органических веществ, которое обычно определяют за 5 суток инкубации (БПК₅);

2) химическое потребление кислорода (ХПК) – показатель бихроматной окисляемости, характеризующий суммарное содержание в воде органических веществ, определяемое по количеству израсходованного на окисление химически связанного кислорода; считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод;

3) растворенный кислород;

4) поверхностно-активные вещества;

5) ионы аммония;

6) фенолы;

7) нефтепродукты;

8) общая минерализация (сумма ионов, сухой остаток).

Этот же перечень показателей целесообразно включать и в программу оценки загрязненности в случае сбросов сточных вод в тех случаях, когда отсутствует информация об их составе [244].

Изучение трудов основоположников подходов для оценки качества поверхностных вод [1; 2; 6; 25; 29; 40; 61; 64; 63; 66; 71; 81; 85; 103; 124; 125; 130; 223; 243; 247; 274; 311], позволяет сделать вывод об основных проблемах, возникающих при выборе репрезентативных показателей. Во-первых, выбор оцениваемых показателей зачастую связан с техническими и экономическими возможностями исследователей, сложившимися научными традициями, доступностью мониторинговых данных по состоянию водных объектов. Так, Г.Н. Красовский [85] обосновал региональный подход для выбора репрезентативных показателей. Ю.В. Новиков с соавторами выделил вещества, способные к химическим превращениям под действием, как химических факторов водной среды, так и биологических. Автор применяет санитарный, органолептический, токсикологический и эпидемиологический показатели [130]. И.А. Авессаломова для выбора репрезентативных показателей обосновывает медико-биологический подход, т.е. автор предлагает в качестве используемых для комплексной оценки показателей выбирать те, которые являются наиболее хорошо изученными с точки зрения влияния на здоровье человека [2]. В своей работе Я.И. Вайсман с соавторами [29] предлагает выбирать репрезентативные показатели исходя из лимитирующих признаков вредности. Другой подход к обоснованию репрезентативных показателей в своей работе

предлагает Н.В. Зайцева [66]. Основная идея подхода заключается в следующем – для обоснования репрезентативных показателей необходимо использовать экспертный метод, в котором учитываются токсичность веществ, их растворимость, устойчивость, влияние на органолептические свойства, ограничения водопользования, общее санитарное состояние водных объектов и др.

По количеству контролируемых показателей у разных исследователей наблюдается сильный разброс. Например, в своей работе С.М. Марголина и Г.М. Рохлин [103] предлагают использовать до 30-40 показателей. Количество учитываемых показателей зависит от целей этой оценки. В частности, если целью является оценка химического загрязнения поверхностных вод антропогенными загрязняющими веществами, то достаточно включить в комплексную оценку показатели, характеризующие сброс со сточными водами вредных веществ.

Е.Д. Тагановым подчеркнуто, что необходимо учитывать фактическую массу каждого вещества, отводимого в природные воды за время наблюдения [216]. Если же целью является оценка общего состояния водного объекта, для обоснования безопасности водопользования, то, очевидно, что список показателей будет шире. Большинство авторов подчеркивают, что даже в условиях, когда комплексная оценка проводится по ограниченному числу показателей, в их перечень нужно включать взвешенные вещества, O_2 (растворенный в воде), БПК₅, рН, коли-индекс, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} [25; 40; 71; 81].

В.Н. Жукинский с соавторами [64] подчеркивают, что в репрезентативную группу следуют отбирать вещества, концентрации которых, исходя из местных условий, могут значительно превышать ПДК. При таком подходе только веществ, имеющих высокие фоновые концентрации, может быть порядка 15-20 наименований. Есть авторы, которые подчеркивают, что при комплексной оценке качества поверхностных вод необходимо учитывать только самые распространенные загрязняющие вещества [139].

Таким образом, большинство ученых предлагают ограничиваться 9-15 показателями качества воды, и обосновывать их выбор исходя из поступающих в водные объекты вредных веществ от антропогенных источников. Проблема данного подхода в том, что вещества двойного генезиса могут вносить существенный вклад в загрязнение даже при почти полном отсутствии антропогенного привноса.

Еще одной проблемой является обоснование пороговых значений репрезентативных показателей для поверхностных водных объектов. Многие авторы [29; 95; 122; 130 и др.] предлагают применять фоновые концентрации загрязняющих веществ в качестве пороговых значений.

1.5. Использование бассейновых принципов для разработки региональных нормативов качества поверхностных вод и воздействия на них

В последнее время активно продвигается идея бассейнового подхода, согласно которому рекомендуется учет местных природно-антропогенных особенностей и использование региональных нормативов для расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ (НДС) [26; 27; 203; 204; 205; 238].

Нормативы регионального уровня в соответствии с бассейновым подходом, необходимо разрабатывать непосредственно для конкретного речного бассейна или его участка. Такой подход гарантирует экологическую обоснованность и скоординированность мероприятий, направленных на охрану водных ресурсов, входящих в одну эколого-гидрологическую систему [129].

За рубежом региональные нормативы стали успешно применяться в системе нормирования и стандартизации значительно раньше, что свидетельствует о важности их разработки в современный период. С 1992 года в странах Евросоюза используется бассейновый подход для регулирования антропогенной нагрузки на водные объекты [305]. С 1994 году применяется Total Maximum Daily Load (TMDL) – показатель предельного количества загрязняющего вещества в поверхностных водах, которое способно ежесуточно ассимилироваться, обеспечивая сохранение и поддержание качества воды, необходимое для конкретной категории водопользования. Для разработки стандартов TMDL используются геоинформационные технологии и системы, а для нормирования антропогенного воздействия применяется бассейновый подход. При этом учитываются результаты многолетних мониторинговых исследований и наблюдений за состоянием водных объектов и широко применяются методы математического моделирования. Благодаря таким стандартам, можно более эффективно распределять антропогенную нагрузку на поверхностный водный объект за счет управления нормативами допустимых сбросов, обоснованных с учетом региональных особенностей водного объекта и его экологического состояния, расположения других источников локального воздействия. В результате формируется наиболее оптимальная система управления разными источниками загрязнения, включая диффузные источники [301].

Для наших исследований актуален положительный опыт управления качеством водных ресурсов, накопленный во Франции. Система управления водными ресурсами Франции основана на бассейновом принципе. Созданы специализированные комитеты, которые ответственны за управление шестью крупными бассейнами, расположенными на территории страны [76]. В соответствии с Директивой Совета Европейского Союза (ЕС) [60], французская модель управления водными ресурсами, реализованная по бассейновому принципу, используется во всех странах ЕС.

Вопросы использования бассейновых принципов при региональном нормировании поднимались многократно и в России [34; 90; 203]. Внедрение бассейновых принципов в управлении качеством водных ресурсов позволит:

- получать результаты оценки, дающие более объективную картину состояния водных объектов;
- более эффективно управлять антропогенной нагрузкой, в частности за счет выделения загрязняющих веществ, в отношении которых необходимы первоочередные водоохранные мероприятия;
- снизить экономические риски водопользователей.

Задачей регулирования антропогенной нагрузки является обеспечение снижения уровня загрязнения поверхностных водных объектов и разработка более обоснованных с научной точки зрения требований к допустимому содержанию загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах.

К примеру, изучение состава воды в р. Казанке привело исследователей к выводу о необходимости применения нормативов качества воды, обоснованных с учетом региональных особенностей. На основании обработки 250 проб воды по 43 показателям установлено, что значительный вклад в формирование уровня загрязненности вносит относительно небольшое число показателей: растворенные формы металлов, в частности медь, свинец и марганец. При этом, марганец и медь имеют природное происхождение. Высокое содержание сульфат-ионов связано с гипсоносным характером пород бассейна, при выщелачивании которых происходит насыщение питающих Казанку подземных вод этими ионами. Только с Голубых озер в них ежегодно поступает более 60 тонн сульфатов, что соответствует 49 % от их выноса с речным стоком. Обнаруживаемые в Казанке концентрации сульфатов на уровне 320-580 мг/дм³ значительно превышают установленные ПДК_{р/х}. Данные особенности нужно учитывать при оценке качества природных поверхностных вод и при установлении допустимой нагрузки на водные объекты [72].

Важно отметить, что величина допустимой нагрузки не может оставаться постоянной из года в год, а зависит от гидрологического режима водотоков и условий формирования природного гидрохимического фона и ее следует рассматривать в качестве динамичной величины [242]. Это означает, что при установлении показателей допустимой антропогенной нагрузки, необходимо учитывать то, что нормативная величина определяется заданным уровнем обеспеченности сохранения требуемого качества вод или вероятностью его превышения, а значит, нормативное значение будет лежать в определенном диапазоне, размах которого задается конкретными региональными особенностями.

Учет данных положений требует применения методов математического анализа и современных информационных технологий. Гарантией эффективных управленческих решений в области водопользования является четкое понимание всех процессов, под влиянием которых происходит формирование качества природных вод.

1.6. Определение нормативов допустимых сбросов в водные объекты с учетом региональных особенностей водных объектов

В ФЗ «Об охране окружающей среды» [232] регламентировано использование нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты в целом и НДС загрязняющих веществ от точечных источников. Величина НДС устанавливается, исходя из НДВ на водные объекты и нормативов качества природных вод. Одним из слабых звеньев в системе нормирования антропогенного воздействия на водные объекты является обоснование НДС с использованием федеральных ПДК, не учитывающих региональные особенности водных объектов.

Научные исследования в области регулирования антропогенного воздействия на природные воды появились во второй половине прошлого века [7; 22; 23; 30; 36; 57; 78; 96; 123; 162; 172; 187; 199; 201; 206; 251; 253; 284; 287; 291]. В настоящее время, основным государственным инструментом регулирования антропогенной нагрузки является расчет нормативов допустимого сброса (НДС) в отношении веществ, подлежащих государственному регулированию [10; 177]. Многие специалисты-практики выступают с конструктивной критикой действующего подхода обоснования НДС, отмечая, что при обосновании пределов антропогенного воздействия на водные экосистемы применяются неадекватные требования, что является одной из основных причин неудовлетворительного состояния природных поверхностных вод [24; 40; 77; 91; 98; 119; 204; 206; 207; 215].

Таким образом, основная критика действующей методики расчета НДС [171] заключается в том, что при обосновании НДС не учитываются природные особенности водоёмов и водотоков. Поэтому, для водопользователей, осуществляющих водоотведение в природные водные экосистемы, могут быть обоснованы неоправданно жёсткие нормативы на сброс сточных вод в водные объекты, прежде всего, по веществам двойного генезиса. Не редко допустимые концентрации отводимых со сточными водами веществ, значительно меньше фоновых концентраций веществ в природных водах. В результате, водопользователи должны отводить воды с более низкими концентрациями веществ по сравнению с природными водами [199].

В частности, результаты мониторинговых исследований показывают, что в воде р. Волги фоновое содержание меди, марганца и цинка выше ПДК_{р/х}, что не влечёт за собой

деградационных процессов в речной экосистеме [200; 231]. В силу природных особенностей водных объектов, ПДК_{р/х} веществ двойного генезиса не могут быть обеспечены даже при введении жёстких требований к НДС. Из-за такого подхода к расчету НДС водопользователям выгоднее вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду, чем финансировать планы природоохранной деятельности, обеспечивающие снижение концентраций загрязняющих веществ в сточных водах. По причине того, что фоновое содержание нормируемых веществ в поверхностных водах часто выше значения ПДК, была разработана методика по расчёту НДС, с заменой действующей ПДК для соответствующей категории водного объекта на фоновую концентрацию [171; 184; 185].

Отметим, к настоящему времени накоплен положительный мировой опыт применения региональных нормативов для нормирования сброса сточных вод. В частности, практически в каждой стране Западной Европы принимаются национальные требования к сбросу загрязняющих веществ со сточными водами, которые определяются с учетом природных особенностей водных объектов. Отметим, что площади европейских стран существенно меньше по сравнению с территорией России, в пределах которой намного больше геохимических провинций. На законодательном уровне в РФ требуется улучшение качества поверхностных вод за счет более жестких требований к отводимым сточным водам, что не всегда обеспечивает желаемый природоохранный эффект и влечет неоправданно высокие затраты на водоочистку. Отметим, что наиболее гибкая система учета региональных особенностей состава поверхностных вод при нормировании сброса загрязняющих веществ разработана и внедрена в Германии, где отменены нормы содержания азота и фосфора в некоторых водных объектах в виде ПДК [241].

В последние годы усиление научной дискуссии по вопросу обоснования НДС связано с переходом на применение наилучших доступных технологий. Действующая методика расчёта НДС (с применением ПДК) противоречит принципам нормирования на основе НДТ, а также принципам водоохранного законодательства [191]. Необходимость перехода к системе обоснования НДС на основе региональных пороговых концентраций с учётом природно-антропогенных особенностей формирования составов поверхностных вод обоснована в работах отечественных и зарубежных учёных [22; 76; 128; 271].

Регулирование сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, осуществляющееся путем контроля объемов сбрасываемых веществ, должно учитывать способность водного объекта к их разбавлению и ассимиляции. Способность к разбавлению сточных вод, определяется гидрологическими и гидрохимическими параметрами. Указанные параметры учитываются при расчете отечественных нормативов допустимого сброса (НДС) в настоящее время лишь в виде оценки гидрологических критериев кратности разбавления и

определения фоновых (доверительных) концентраций загрязняющих веществ на конкретных участках водного объекта [135]. Иные природные особенности действующая система расчета НДС не учитывает, используя подход, связанный с ограничением загрязнения водотоков и водоемов на основе ПДК [107; 109].

Установление технологических нормативов сбросов на основе применения НДТ основывалось на постановлении Правительства РФ №1029, которое утратило юридическую силу с 1.01.2021 г. [164]. На смену ему пришло новое Постановление Правительства РФ №2398 [166], однако на принципы нормирования антропогенного воздействия на водные объекты смена нормативных документов значительно не повлияла. Для предприятий I категории обосновано применения маркерных показателей – наиболее значимых представителей группы веществ, внутри которой наблюдается тесная корреляционная связь, по значению которых можно оценить значения всех веществ, входящих в группу. Использовать значения маркерных показателей предполагается, прежде всего, для целей нормирования, что отражено в информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям. Предписано обязательно проводить измерения количественных характеристик маркерных веществ в рамках программ производственного экологического контроля. Но для предприятий II и III категории не разработаны подходы для выделения маркерных показателей.

Также проблемой является ситуация, когда надзорно-контрольные органы применяют ПДК_{р/х} непосредственно к сбрасываемой сточной воде, аргументируя это тем, что содержание загрязняющих веществ в поверхностных водах, превышает эту величину [211]. Практика разработки НДС на основе ПДК_{р/х} показывает, что водопользователям устанавливаются недостижимые «жесткие» нормативы на сброс металлов и чрезмерно «мягкие» нормативы на сброс биогенных элементов (азот и фосфор). Во многих случаях нормативы на сброс металлов не могут быть соблюдены в силу природных геохимических аномалий их содержания [211]. С другой стороны, мягкое нормирование биогенных элементов способствует интенсификации процесса антропогенного эвтрофирования, нарушает нормальное функционирование водных экосистем и приводит к ухудшению качества вод поверхностных водных объектов [205; 207]. Обоснование предельных допустимых сбросов загрязняющих веществ, исходя из необходимости соблюдения жестких нормативов качества воды, установленных для водоемов рыбохозяйственного назначения, повлекло за собой пересмотр значений нормативов в сторону их послабления [170].

Установление нормативов допустимого сброса должно основываться на результатах многолетних мониторинговых исследований состояния водного объекта и источников антропогенного воздействия на него. Учет природных и антропогенных факторов, воздействующих на поверхностные воды при регулировании антропогенного воздействия,

поддерживается многими исследователями. Для развития этого направления необходимо сформулировать научные основы для разработки нормативов воздействия и предложить практические шаги по совершенствованию существующей системы нормирования.

Поскольку оценка качества поверхностных вод является ключевым фактором для принятия эффективных управленческих решений, связанных с регулированием антропогенной нагрузки, то необходим поиск новых, более математически обоснованных подходов. Хемометрический подход в последнее время все активнее применяется при решении задач анализа массивов данных с поиском различного рода закономерностей.

Широкий перечень загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты, приводит к необходимости учета совокупности гидрохимических показателей. Классические комплексные показатели качества вод, полученные на основе агрегативных преобразований, типа приведенного взвешенного среднего, не имеют под собой достаточного теоретического обоснования. С задачами комплексной оценки, классификации, выделения репрезентативных показателей прекрасно справляются нейронные сети [132].

1.7. Развитие хемометрии и использование хемометрических подходов в мониторинге состояния водных объектов

Хемометрией называют научную дисциплину, которая вышла из аналитической химии, но играет фундаментальную роль, предоставляя различные инструменты, которые можно использовать для решения ключевых задач в разных областях, в том числе в области экологического мониторинга. Хемометрия использует математические методы для получения новой информации путем анализа результатов измерений. Так, в результате химического анализа объектов окружающей среды формируются большие объемы данных, и для их обработки используют как базовые статистические методы, так и применяют анализ главных компонент (PCA), кластерный анализ (CA) и линейный дискриминантный анализ (LDA) [259; 269; 270; 291; 296; 298].

Методы хемометрии используются для поиска скрытой информации, содержащейся в многомерных данных, поступающих в результате измерений. Многие задачи аналитической химии связаны с классификацией, т.е. отнесением исследуемых образцов к одному или нескольким классам на основе набора измерений, зафиксированных для их характеристики. Наиболее часто используемыми методами исследовательского анализа данных являются анализ главных компонент, кластерный анализ и карты Кохонена. Для вычисления классификатора используется обучающий набор с известной принадлежностью к классу. Набор прогнозов, содержащий объекты, не использованные в обучении, а также с известной принадлежностью к классу, служит для тестирования производительности классификатора.

Хемометрические модели могут предсказывать как количественные (непрерывные величины, например, содержание компонента), так и качественные (дискретные, например, соответствие/несоответствие требованиям, принадлежность к классу). К примеру, в работе [297] проведена классификация качества сточных вод и оценка загрязнения по результатам мониторинговых измерений по 15 химических и физико-химических параметров качества воды (рН, температура, взвешенные вещества, оседающие вещества, химическая потребность в кислороде, биохимическая потребность в кислороде, адсорбируемые органические галогены, общий фосфор, аммоний, нитриты, сульфаты, хлориды, фториды, сульфиды и содержание минерального масла), отслеживаемые в ежемесячные периоды (всего 60 объектов x 15 переменных).

Для обработки результатов использовались различные хемометрические методы, такие как основные статистические методы определения средних и медианных значений, стандартных отклонений, минимальных и максимальных значений измеряемых параметров и коэффициентов их взаимной корреляции, а также методы PCA, CA и LDA. Исследование позволило извлечь из массивов данных новую информацию, такую как закономерности сходства между местами отбора проб, источники загрязнения окружающей среды, сезонное поведение химических веществ и временные тренды.

Таким образом, хемометрические подходы позволяют обобщать результаты измерений физических и химических параметров исследуемых объектов, выделить территориальные особенности мест отбора проб, установить источники загрязнения, определить сезонную изменчивость и временные тенденции.

Методы хемометрии используются для поиска скрытой информации, содержащейся в многомерных данных, поступающих в результате измерений. Многие задачи аналитической химии связаны с классификацией, т.е. отнесением исследуемых образцов к одному из заранее известных классов на основе набора измерений их характеристик. Наиболее часто используемыми методами исследовательского анализа, применяемыми для классификации данных, является метод главных компонент, логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей и другие. В настоящее время все большую популярность приобретают методы, основанные на машинном обучении. К таким методам можно отнести метод решающих деревьев, метод опорных векторов, а также большую группу нейросетевых методов (вероятностные нейронные сети, сети Кохонена и др.). Для построения классификатора при машинном обучении используется набор заранее размеченных данных (данные с известной принадлежностью к классу). Набор разделяется на обучающее и тестирующее множество. Модель строится по данным из обучающего множества, а тестовый набор служит для проверки производительности построенного при обучении классификатора. Наиболее часто

используемыми методами классификации являются искусственные нейронные сети [268; 263; 264; 266; 267; 276; 287; 280].

1.8. Возможности применения искусственных нейронных сетей в задачах регионального экологического нормирования

Искусственная нейронная сеть (ИНС) – математическая модель, прототипом для построения которой послужили сети нервных клеток, так называемые нейронные сети живых организмов [284]. При функционировании ИНС происходит реализация построения моделей из более простых, взаимосвязанных элементов. Таким способом получают модели мыслительных или поведенческих явлений. Таким образом, в структуру модели искусственной нейронной сети практически вложено человеческое мышление, например, в виде синаптических связей в персептроне. В итоге ИНС создает модель функционирования нейронов головного мозга.

На рисунке 1.1. представлена модель искусственного нейрона, у каждого нейрона есть группа своих синапсов. Это входные связи, расположенные в одном направлении. Они соединены с выходами соседних искусственных нейронов. Каждый синапс имеет свой вес (вес w_i) или иначе – величину синаптической связи.

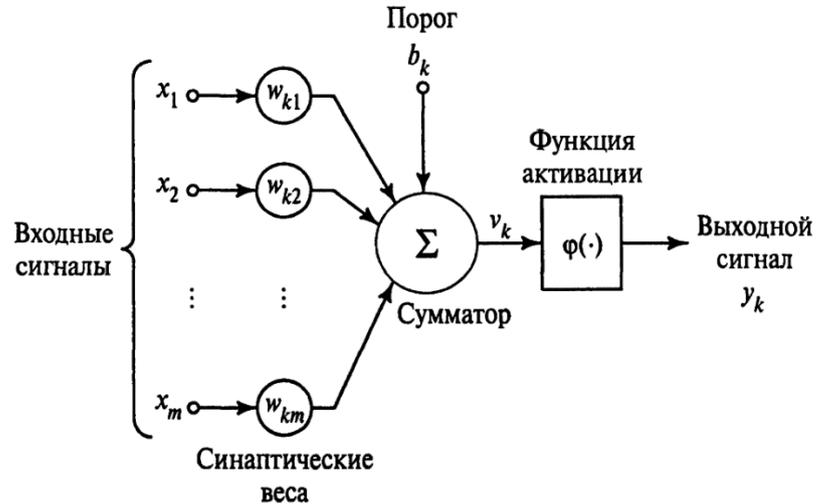


Рисунок 1.1 – Модель искусственного нейрона

Выход искусственного нейрона описывается функцией: $y_k = f(s)$, где f – функция активации. Наиболее часто используются функции активации:

а) Пороговая функция – простая кусочно-линейная функция (если входное значение меньше порогового, то значение функции активации соответствует минимальному допустимому, если нет – максимально допустимому).

б) Кусочно-линейная функция – имеет два линейных участка, в которых функция активации равна минимально допустимому и максимально допустимому значению, и есть участок, на котором функция строго монотонно возрастает (не сложная функция).

в) Сигмоидальная функция – монотонно возрастающая дифференцируемая S-образная нелинейная функция (позволяет усиливать слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов).

г) Гиперболический тангенс – принимает на входе произвольное вещественное число, а на выходе дает вещественное число в интервале от -1 до 1 (гиперболический тангенс может насыщаться, однако, выход данной функции центрирован относительно нуля).

На рисунке 1.2. представлены те виды функций, которые имеют в настоящее время наибольшее применение на практике (рисунок 1.2, а – г).

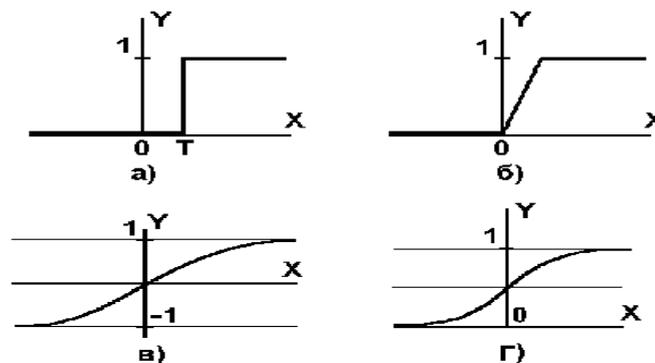


Рисунок 1.2 – Применяемые на практике виды функций активации а) пороговая функция, б) кусочно-линейная функция, в) гиперболический тангенс, г) сигмоидальная функция

1.8.1. Обучение нейронных сетей

Основное преимущество ИНС заключается в их способности к обучению и переобучению. Это позволяет гибко корректировать модель без необходимости ее полной перестройки в отличие классических моделей. Для этого достаточно переобучить модель нейронной сети на новых данных в течение нескольких эпох. Поскольку модель уже была обучена ранее, запоминание новых данных будет происходить быстро. При этом структура сети не изменится, но изменятся весовые коэффициенты, и нейросетевая модель будет работать по-новому. В ходе обучения нейронных сетей выделяют следующие фундаментальные свойства:

- емкость образцов и вычислительная сложность [48]. Под емкостью образца понимают то их количество, которые нейронная сеть способна сохранить в памяти, а также границы и функции, которые сеть может создать для принятия того или иного решения; сложность образцов – это достаточное число обучающих примеров, позволяющее

искусственной сети произвести обобщение данных. Если примеры предоставлены в недостаточном количестве, то происходит переобучение сети.

Правила обучения с учителем, следующие:

- 1) правило коррекции по ошибке – обучение происходит тогда, когда персептрон ошибается;
- 2) обучение Больцмана – настройка весов проводится с учетом состояния видимых нейронов;
- 3) правило Хебба (строится на основе нейрофизиологических наблюдений) – сила межсинаптической связи увеличивается в случае, когда происходит одновременная активация и регуляция нейронов с обеих его сторон. При этом только активность связанных с синапсом нейронов приводит к изменению синаптических весовых коэффициентов.

Преимущества ИНС заключаются в способности учитывать большое количество различных значений параметров, формировать между ними причинно-следственные связи, оценивать степень влияния отдельных параметров. Помимо вышеперечисленного, ИНС дает возможность оценить некорректность исходных данных, отражая сложные нелинейные зависимости между ними. При этом корректирующие коэффициенты подбираются автоматически. Для объединения данных экологического мониторинга в группы широко применяются нейронные сети Кохонена [9; 11; 167; 264; 275; 289; 307].

1.8.2. Многослойный персептрон

В современных исследованиях для объединения нейронов в сеть широко используется многослойный персептрон (MLP). Такой способ объединения позволяет организовать послойное взаимодействие нейронов в нейронной сети, за счет их разделения на отдельные слои [17]. Нейроны, одновременно подающие и получающие сигналы друг другу, формируют слои ИНС. Типовая сеть MLP должна иметь входной и выходной слои и, как минимум, один скрытый слой (рисунок 1.3). Обычно используется один или два скрытых слоя.

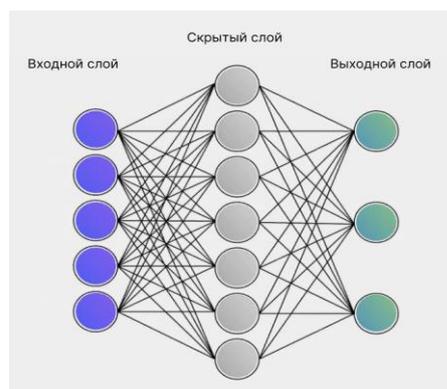


Рисунок 1.3 – Нейронная сеть типа MLP с одним скрытым слоем

Использование MLP позволяет аппроксимировать зависимости любой сложности, при наличии одного скрытого поля и, если выбрана функция активации, в виде гипертангенса. В таком случае можно говорить об универсальности аппроксиматора MLP. Обучение нейронной сети типа MLP происходит по принципу «с учителем». Сеть должна иметь правильные ответы на все входные обучающие примеры. Для получения более точных ответов происходит настройка веса нейронов. Используемый алгоритм «с учителем» является усиленной формой обучения. В таком случае правильные ответы не известны системе, а только критическая оценка правильности выхода.

MLP могут эффективно применяться для решения задач нормирования качества природных вод [214]. Так, в работах [281; 304; 308] моделируются параметры состояния речных поверхностных вод, в [300] – грунтовых вод. Другие парадигмы нейронных сетей используются гораздо реже. Например, в работе [290] применены рекурсивные LSTM-сети для моделирования биологического загрязнения водоемов водорослями. В работе [309] авторы используют самоассоциативные сети Хопфилда для оценки устойчивости водных экосистем. Попытки использовать столь популярные сегодня глубокие сверточные нейронные сети CNN пока ограничиваются распознаванием определенных экологических и биологических объектов в природной среде [262; 283; 293; 310].

1.8.3. Комплексная оценка с использованием искусственной нейронной сети

На сегодняшний день существует множество методических рекомендаций и РД для комплексной оценки качества поверхностных вод. Однако, достаточной адекватности оценивания при этом не наблюдается [132; 223; 248]. Наличие большого количества факторов, которые невозможно учесть и отсутствие строгого математического обоснования количественных показателей приводят к достаточно широкой нелинейности в существующие способы оценки [256; 257]. В результате сегодня слабо изучены и нелинейные зависимости концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах от существующих гидрохимических условий, характеристик источников сбросов и т.п. В связи с вышесказанным, применение ИНС для выделения природно-антропогенных особенностей водных объектов становится наиболее перспективной технологией. В нашей работе предложен подход классификации водных объектов по значениям гидрохимических показателей на основе выделения «схожих» классов. Для решения подобных задач хорошо подходят методы нейросетевого кластерного анализа. С помощью кластерного анализа можно произвести выборку данных, имеющих, в заданном формате, общие (похожие) свойства. Если данные внутри своего класса должны быть максимально идентичны друг другу, то данные, относящиеся к различным классам, должны быть максимально не похожими друг на

друга [271; 302]. В работе [295] авторы применяют алгоритм кластеризации K-средних Мак-Кина для идентификации загрязняющих морскую воду веществ. В работе показана возможность четкого разделения проб воды по группам загрязнения металлами и фенолами от незагрязненной воды, и идентификации загрязняющего вещества на основе предложенной кластеризации. Положительные результаты применения алгоритма кластеризации K-средних были также получены и другими учеными. В частности, авторы [286] успешно применили данный алгоритм для определения зон загрязнения вод на территории Индонезии. Так, сети Кохонена использованы в работе [261] для моделирования уровня загрязнения воздушного бассейна городов. В работе [282] авторы при помощи сетей Кохонена выделяют основные паттерны загрязнения почв. В работе [279] авторы моделируют ареалы загрязнения грунтовых вод. Недостатком данного метода можно считать необходимость заранее знать число кластеров, на которые впоследствии будут разделяться данные.

Подобного недостатка лишены так называемые иерархические методы кластеризации, например, метод Варда (Ward's hierarchical cluster analysis) [278]. Метод также с успехом применяется в задачах экологического мониторинга для оценки уровней загрязнения отдельных участков почвы [298], оценки качества воды в реках [303], исследования пылевого загрязнения воздуха [294] и др. Авторы [293] применяют иерархическую кластеризацию для группировки временных рядов результатов экспериментальных наблюдений за состоянием поверхностных вод в одном конкретном водном объекте, показав, что кластерный анализ применим для группировки данных не только для выделения пространственных однородных участков загрязнений, но и временных.

Для оценки кластеризации применяют следующие показатели [208]: компактность (плотность элементов в кластере); отделимость (определяется как расстояние между самыми удаленными элементами кластера); концентрация (максимально достижимая концентрация элементов вокруг центра кластера).

Глава 2. Объекты, материалы и методы исследования

Выбор мест пробоотбора для оценки качества поверхностных вод осуществлен с учетом необходимости обеспечения репрезентативности пробы. Определение мест пробоотбора на исследуемом водном объекте определены путем отбора проб через интервалы по поперечному сечению на различных глубинах для определения однородности по поперечному сечению [176]. В соответствии с [181] пункты наблюдений организуют на водотоках в районах расположения городов, сточные воды которых сбрасываются в водотоки, сброса сточных вод крупными промышленными предприятиями.

2.1. Места пробоотбора поверхностных вод исследуемых водных объектов

Современная территориальная сеть наблюдений за количественными и качественными показателями состояния водных ресурсов поверхностных водных объектов республики Татарстан (РТ) основывается на систематических наблюдениях, проводимых МЭПР РТ с 1994 года, а также на вновь созданных пунктах наблюдений территориальной системы мониторинга для более полного охвата гидрологической сети республики. Наблюдательная сеть функционирует на базе территориальных управлений и специализированных инспекций аналитического контроля МЭПР РТ, с учетом установленных зон деятельности и бассейнового принципа. Пункты наблюдений расположены таким образом, чтобы они дополняли данные существующих наблюдений и отражали специфику формирования качества воды в водных объектах. В основу выбора для включения в региональную сеть государственного мониторинга была положена речная сеть с протяженностью водотоков 25 км и более.

Пробы отбирались на гидрохимических постах МЭПР РТ, расположение которых регламентировано требованиями мониторинга фоновое состояние качества поверхностных вод водного объекта, либо его участка. Исследования проводились на следующих реках Волжско-Камского бассейна в пределах РТ: Волга, Кама, Казанка, Меша, Сулица, Ашит (2014-2021 гг.). Точки отбора проб для оценки уровня загрязнения поверхностных вод показаны на рисунке 2.1.

В пробах воды определялось содержание следующих показателей: алюминий, мг/дм³, аммоний ион, мг/дм³; БПК₅, мг/дм³; взвешенные вещества, мг/дм³; гидрокарбонаты, мг/дм³; железо, мг/дм³; жесткость, общая жесткость (в градусах жесткости); кальций, мг/дм³; кислород раствор., мгО₂/дм³; магний, мг/дм³; марганец, мг/дм³; медь, мг/дм³; нефтепродукты, мг/дм³; никель, мг/дм³; нитраты, мг/дм³; нитриты, мг/дм³; общее содержание ионов (минерализация), мг/дм³; прозрачность, см; сульфаты, мг/дм³; температура, °С; фенол, мг/дм³; фосфат ион, мг/дм³; ХПК, мг/дм³; хлориды, мг/дм³; цинк, мг/дм³; электропроводность, мкСм/сдм.

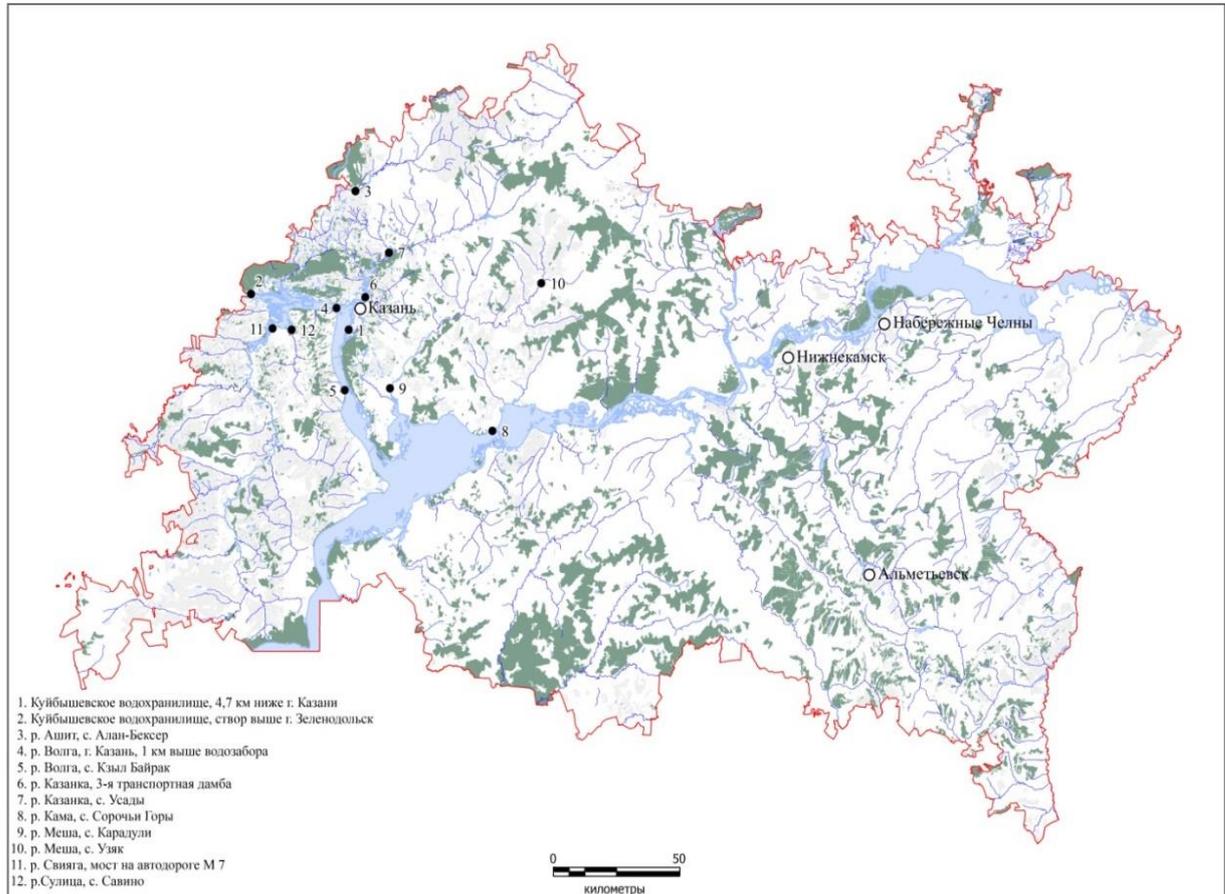


Рисунок 2.1 – Места пробоотбора поверхностных вод

В период с 2014 года по 2019 год в природных водах дополнительно контролировалось содержание АПАВ, мг/дм³, формальдегида, мг/дм³, сульфидов, мг/дм³.

2.2. Места отбора питьевых вод и контролируемые параметры в питьевых водах

Для оценки качества питьевых вод, приготавливаемых из вод поверхностного источника водоснабжения, пробы отбирались в 22 точках пробоотбора на различных участках г. Казани (таблица 2.1, рисунок 2.2).

Таблица 2.1 – Описание точек отбора питьевых вод г. Казани

Номер точки	Расположение мониторинговой точки
1	2
1	Водозабор "Волжский"
2	Первичная в/колонка, ул. Боевая, 147
3	В /кран здания по ул. Татарстан, 7
4	В /кран здания по ул. Тимирязева, 2а
5	В /кран здания по ул.Х.Такташ, 123
6	В /кран здания по ул. Космонавтов, 44
7	В /кран здания по ул. Чистопольская, 3

Продолжение таблицы 2.1

1	2
8	В /кран здания по ул. Чистопольская, 4
9	В/колонка ул. Трансформаторная, 16
10	В/колонка ул. Волкова, 15
11	В/колонка: ул. Коновалова, 26
12	В/кран здания по ул. Карбышева
13	В/колонка по ул. Окраинная
14	В/кран здания по ул. Горсоветская, 17
15	В/кран здания по ул. Оренбургский тракт
16	В/кран здания по ул. Четаева 18
17	В/кран здания по ул. Горького, 34
18	В/кран здания по ул. Лукина-Прежевальского 1
19	В/кран здания ул. Сибирский тракт, 34
20	В/кран здания ул. Блюхера, 4
21	В /кран здания ул. Сеченова, 13а
22	В/кран здания по ул. Тэцевская, 16

Места отбора проб питьевых вод были сгруппированы в 11 зон (в зависимости от адреса), охватывающих практически всю территорию г. Казани, что необходимо для оптимизации последующей разработки управленческих решений.

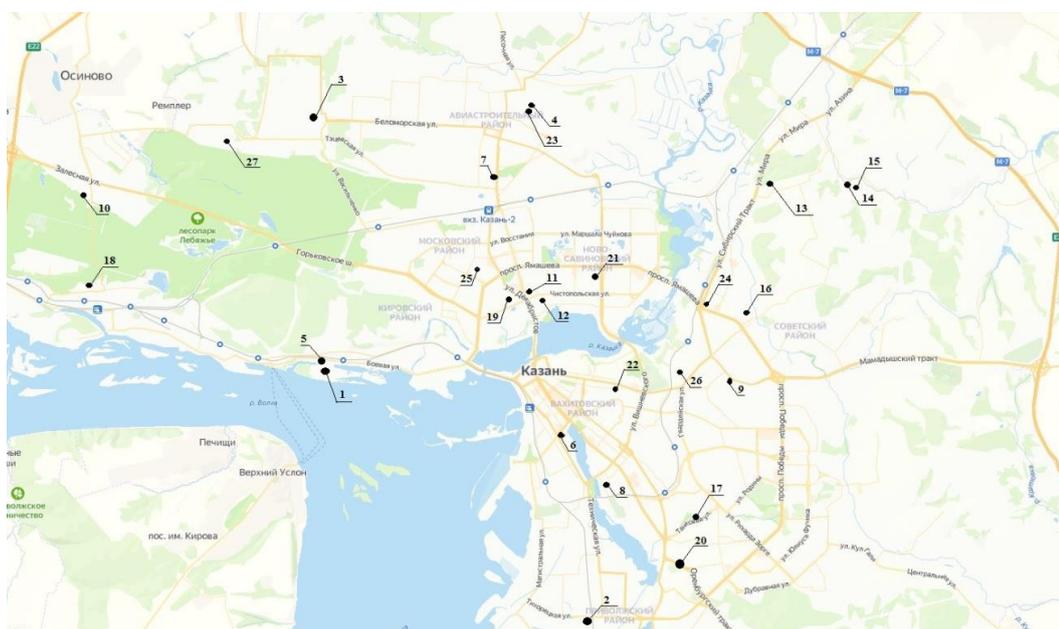


Рисунок 2.2 – Расположение точек отбора образцов питьевой воды

В каждой точке пробоотбора в период с 2014 года по 2021 год определялись содержания по 12 показателям (мг/дм³): алюминий; железо; магний; нитраты; нитриты; сульфаты; медь; фториды; хлориды; хлороформ и общая жесткость (в градусах жесткости), а также сухой остаток. Используемые методы анализа и нормативные документы, регламентирующие определение гидрохимических показателей питьевых вод, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Методы определения показателей в питьевых водах

Показатель	Нормативный документ	Характеристика метода
Алюминий	ПНД Ф 14.1:2:4.181-02	Метод основан на измерении массовой концентрации алюминия в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02"
Железо	ГОСТ 4011-72	Измерение массовой концентрации общего железа с сульфосалициловой кислотой
Магний	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	Метод капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель»
Нитраты	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	
Нитриты	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	
Сульфаты	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	
Фториды	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	
Хлориды	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	
Медь	ПНД Ф 14.1.2.253-09	Атомно-абсорбционная спектрометрия
Жесткость общая	ГОСТ 31954-2012	Комплексонометрический (титриметрический)
Сухой остаток	ГОСТ 18164-72	Весовой метод
Хлороформ	ПНД Ф 14.1:2:4.71-96	Газовая хроматография

2.3. Общая характеристика исследуемых водных объектов

Исследуемые реки расположены в зоне с умеренно-континентальным типом климата средних широт, с умеренно-холодной зимой и теплым летом. По территории исследования осадки распределяются сравнительно равномерно. По количеству выпадаемых осадков район исследования относится к зоне умеренного увлажнения [173].

Протяженность основной водной артерии РТ р. Волги с запада на восток составляет 1805 км. В пределах РТ р. Волга принимает свой крупнейший приток р. Каму, её среднегодовой расход при слиянии с р. Волгой (4100 м³/с) больше, чем у р. Волги (3500 м³/с). В пределах РТ в р. Волгу впадают р. Казанка, р. Свияга и другие более мелкие реки. Р. Волга характеризуется необычным направлением стока: до Республики Татарстан р. Волга течет в широтном направлении, а затем в меридиональном. На р. Волге создано 9 водохранилищ, крупнейшим из которых является Куйбышевское водохранилище [89].

Современная р. Волга, по существу, представляет собой систему проточных озер. Водоохранилище существенно изменило режим р. Волги – сток в половодье уменьшился, а в межень возрос. Среднегодовой расход воды на западной границе РТ составляет примерно 3500 км³/с. Скорость течения не высокая, 0,1-0,2 м/с [173].

Куйбышевское водохранилище является крупнейшим в мире водохранилищем, расположенным в речной долине. Площадь водохранилища составляет 5900 км², объем 56 км³.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) составляет 53 м. Водное зеркало Куйбышевского водохранилища имеет сложную конфигурацию. Расширенные участки (15-20 км) чередуются с узкими проливами, ширина которых не превышает 3-5 км. По р. Волге длина водохранилища составляет 510 км, по р. Каме – 280 км. Наибольшая ширина водохранилища в Камском Устье (27 км). Средняя глубина 9,4 м. У г. Казани глубина составляет 16-18 м. В Куйбышевское водохранилище впадает около 100 рек. На водохранилище сезонно регулируют сток: происходит весеннее наполнение до нормального подпорного уровня, в течение года обеспечивают заданный уровень воды. Уровень воды при весеннем наполнении повышается в среднем на 5 м по сравнению с уровнем конца зимы. Наиболее интенсивно подъем воды происходит в апреле. Снижение уровня воды происходит во второй половине осени [173].

Река Кама является левым, самым крупным притоком р. Волги. Исток р. Камы находится в Удмуртии. Река протекает по территории Удмуртии, Кировской и Пермской областей и РТ в нижнем течении. Длина реки 1805 км (в пределах Татарстана 360 км), площадь бассейна составляет 507 000 км² (в пределах Татарстана 38000 км²). Р. Кама берет начало на Верхнекамской возвышенности на высоте 331 м. Первые 100 км течет в северном направлении, затем, огибая возвышенность, меняет направление на южное. Сток р. Камы на большом протяжении зарегулирован плотинами. Питание реки смешанное, но преимущественно снеговое. 130 км³ составляет средний объем годового стока реки, большая часть которого (58 %) приходится на весенний период. Средний многолетний расход воды у границ РТ составляет 1770 м³/с; у р. Волги до слияния с р. Камой – 3500 м³/с. Для р. Камы характерен асимметричный левосторонний корневой рисунок речной сети. Крупнейшими притоками р. Камы являются р. Белая и Вятка. Они впадают в р. Каму в нижнем течении. Площадь левобережных притоков р. Камы составляет 273 тыс. км², правобережных притоков – 164 тыс. км². Средняя густота речной сети – 0,50 км/км². Она плавно уменьшается с севера на юг. В разных частях бассейна она изменяется в 2,5 и более раз, как и показатель лесистости территории [121].

Река Казанка является левым притоком р. Волги. Исток реки находится в Арском районе РТ. Река протекает по территории Высокогорского района Татарстана, низовье и устье реки расположены в черте г. Казани. Река имеет длину 140 км, площадь бассейна составляет 2600 км². Абсолютная высота истока 160 м, устья – 53 м. Среднегодовые колебания уровня воды у г. Казани составляют 5,4 м (максимум 7,2 м). Вода на большом протяжении реки сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого типа [173].

Река Ашит является левым притоком р. Илеть. Исток расположен на территории Арского района РТ. Высота истока над уровнем моря составляет 152,3 м. Река протекает по территории Атнинского и Высокогорского районов Татарстана. Устье реки находится на территории

Республики Марий Эл. Длина реки составляет 89 км, площадь водосборного бассейна 1087 км². На период половодья приходится до 90 % годового стока. Средний показатель многолетнего слоя годового стока составляет 180 мм. Средний расход воды в устье реки в период межени составляет 0,575 м³/с [173].

Река Сулица. Исток расположен в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан. Низовье реки находится под подпором Куйбышевского водохранилища. Река Сулица имеет длину 43,1 км, площадь речного бассейна составляет 548 км². Река протекает по Приволжской возвышенности по территории Верхнеуслонского района Республики Татарстан. Русло реки извилистое, неразветвленное, шириной 5-6 м. Средняя скорость течения – 0,1-0,2 м/с. Глубина в межень – 0,4-1 м. Абсолютная высота истока 170 м, устья – 53 м [173]. Более подробные территориальные и гидрологические характеристики исследуемых рек представлены в приложении 3.

Геологические условия во многом определяют гидрохимический состав поверхностных вод, что частично связано с характером питания рек, контактом воды с породами при перемещении по руслу, характером эрозионных процессов [45; 250].

Большое значение в формировании гидрологического режима рек и их геохимического состава имеет характер растительного покрова и степень антропогенной трансформации природных ландшафтов, в частности процент распаханых земель. Эрозионные процессы на сельскохозяйственных землях почв бассейна рек определяют динамику взвешенных веществ и мутность воды [5]. Уровень загрязнения р. Волги сильно зависит от колебаний уровня воды, эрозионно-оползневых процессов, усиленной переработки берегов. Прогнозируемый минимальный допустимый уровень воды Куйбышевского водохранилища (51 м) будет соответствовать категории «умеренно-загрязненная» [94].

Косвенным образом на химический состав природных поверхностных вод влияет рельеф местности. Именно рельеф определяет специфику водообмена: на возвышенностях и склонах поверхностный сток усиливается, а в условиях низменностей он замедляется, при этом увеличивается инфильтрация вод в почву. Характер рельефа, геологических условий, почв и растительного покрова более подробно представлен в приложении 4.

Формирование гидрохимических показателей поверхностных вод во многом определяется характером их питания. Для исследуемых рек РТ характерно смешанное питание. В среднем 60 % годового стока обеспечивает снеговое питание, на 30 % питание рек обеспечивают подземные воды. Воды исследуемых объектов по гидрохимическому составу относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевым или гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевым. Лишь в бассейнах рек Казанка и Меша отмечается сульфатно-

гидрокарбонатно-кальциевый тип [173]. Более подробно гидрохимические особенности исследуемых водных объектов приведены в приложении 5.

2.4. Источники антропогенного воздействия на исследуемые водные объекты

Качество поверхностных вод формируется под влиянием природных факторов, а быстро может изменяться под влиянием антропогенных факторов. Антропогенные источники воздействия на исследуемые поверхностные воды, как и факторы их влияния (химические, биологические, физические, в частности, тепловое) крайне разнообразны [13; 127; 217], но с позиции эффективного управления качеством водных ресурсов важно учитывать приток загрязняющих веществ как организованными, так и диффузными источниками [189; 213].

Сточные воды, сбрасываемые в водные объекты от организованных источников, значительно изменяют их гидрохимический и биологический режим, нарушая нормальную жизнедеятельность организмов водных экосистем [68]. Понятие «сточные воды» и их классификация приводятся в ряде нормативных актов РФ [32; 49]. Нами рассматриваются в качестве сточных производственные сточные воды, которые образуются при использовании воды на различных стадиях производственных процессов.

В настоящее время более трети общего сброса сточных вод в РФ осуществляется в Волжском бассейне [112]. Большой вклад в загрязнение поверхностных водных объектов (по массе загрязняющих веществ) вносят предприятия химии и нефтехимии, машиностроения и теплоэнергетики [56]. Крупнейшими водопользователями Волги в районе исследования являются: муниципальное унитарное предприятие (МУП) «Водоканал» г. Казани, ПАО Казаньоргсинтез, Казанская ТЭЦ 1; ОАО Казанский завод синтетического каучука. Основные загрязняющие агенты – это соединения азота, железа, взвешенные вещества, сульфаты, хлориды. Отмечается тенденция увеличения поступления фенолов и солей металлов (приложение 6).

Основными организованными источниками воздействия на р. Казанку являются МУП «Водоканал», Казанский авиационный завод им. Горбунова (КАПО), ПАО «Оргсинтез», Казанское моторостроительное производственное объединение (КМПО), Казанский оптико-механический завод (КОМЗ). Приоритетными загрязняющими веществами реки Казанки являются железо общее, медь, нитрит-ионы, ионы аммония, фенол, нефтепродукты, фосфор общий. Высокое содержание железа и меди в воде реки Казанки определяется во многом природными особенностями, а нитритов, ионов аммония и фосфора определяется в большей степени антропогенными факторами. Помимо сточных вод промышленных предприятий существенный вклад в формирование качества воды реки Казанки вносят ЖКХ,

несанкционированные объекты размещения отходов, маломерный флот, намыв при строительстве зданий, дамб, пляжей [250].

Крупнейшими водопользователями р. Камы являются: АО «Особая экономическая зона промышленно-производственного типа «Алабуга»; ООО «Челныводоканал»; ПАО «Нижнекамскнефтехим». Особенностью антропогенного воздействия на р. Каму является большие объемы забираемой воды на нужды промышленности, ЖКХ, сельского хозяйства и энергетики. В структуре водопотребления около 20 % приходится на долю ЖКХ. Из-за износа инженерных систем ЖКХ (50-70 %) утечки составляют порядка 30 % от объема воды в водопроводных сетях. Высокие показатели промышленного водопотребления обусловлены сосредоточением в пределах РТ водоемких производств, прежде всего, предприятий химической промышленности. В поверхностные воды бассейна р. Камы сбрасывается более 4 км³ или около 25 % объема сточных вод Волжского бассейна. Более 30 % сточных вод относится к категории «загрязненные», что негативно влияет на качество речных вод [56]. Характеристика объемов сбрасываемых сточных вод в р. Волгу и Каму по данным типовой формы статистической отчетности 2 ТП – водхоз приведена в таблице 2.3. Следует отметить преобладающий сброс недостаточно очищенных и сброшенных без очистки сточных вод.

Таблица 2.3 – Характеристика сбрасываемых сточных вод в Волгу и Каму (в пределах РТ)

Река	Сброс, млн. куб. м	Объем сточных вод, требующих очистки, млн. куб. м	Сброшено без очистки, млн. куб.м	Сброс недостаточно очищенных сточных вод, млн. куб.м
Волга	685,66	444,70	89,75	292,73
Кама	373,64	176,47	2,87	111,36

Многообразие поступающих в поверхностные воды веществ, условий их поступления, многообразие факторов, влияющих на процессы самоочищения и поведение загрязняющих веществ в водных объектах, объясняет тот факт, что задача комплексной оценки качества природных вод, находящихся под интенсивным антропогенным воздействием, до настоящего времени является до конца не решенной.

2.5. Характеристика питьевых вод, приготавливаемых из вод поверхностного водоисточника

Река Волга служит главным источником питьевого водоснабжения г. Казани. Характерными особенностями поверхностных вод Волги является высокое содержание взвешенных веществ (максимальное содержание в период паводков), повышенное содержание веществ органического происхождения и микроорганизмов, в том числе, бактерий. Указанные

показатели в значительной степени определяют органолептические показатели, особенно прозрачность и цветность воды. Так же отличительной особенностью воды р. Волги в средней ее части является не высокая жесткость и незначительное содержание минеральных веществ.

Качество поверхностных вод р. Волги, идущих на приготовление вод питьевого качества, определялось на расстоянии 1 км выше водозабора. Максимальные ($C_{\text{макс.}}$) и минимальные ($C_{\text{мин.}}$) концентрации контролируемых гидрохимических показателей, а также средние значения ($C_{\text{ср.}}$) в таблице 2.4. По железу, марганцу и меди были зафиксированы результаты измерений с превышением ПДК_{р/х}. Так же были зафиксированы пробы с превышением ПДК_{р/х} по нефтепродуктам, нитритам, фосфат-иону, сульфатам и фенолу.

Таблица 2.4 – Характеристика гидрохимических показателей в точке отбора р. Волга, 1 км выше водозабора

Показатель, мг/дм ³	$C_{\text{мин.}}$, мг/дм ³	$C_{\text{макс.}}$, мг/дм ³	$C_{\text{ср.}}$, мг/дм ³	ПДК _{р/х} , мг/дм ³
Ионы аммония	0,05	0,78	0,277	0,5
БПК ₅	0,59	19,8	0,22	2
Взвешенные вещества	0,5	98,5	21,176	Не норм.
Гидрокарбонаты	96	336	215,29	Не норм
Железо	0,017	0,307	0,056	0,1
Жесткость	1,91	10,97	6,8	Не норм
Кальций	29,7	172	87,206	180
Кислород растворенный	7,3	16,8	10,31	Не менее 6 мгО ₂ /дм ³
Магний	1,46	32,7	15,60	40
Марганец	0,007	0,69	0,035	0,01
Медь	0	0,02	0,0009	0,001
Нефтепродукты	0	0,09	0,02	0,05
Никель	0	0,005	0,00029	0,01
Нитраты	0,88	27,5	2,729	40
Нитриты	0,022	0,142	0,053	0,08
Минерализация	227	920	468	
Свинец	0	0	0	0,006
Сульфаты	18,8	294	119,223	100
Фенол	0	0,006	0,0016	0,001
Фосфат-ион	0,042	0,479	0,2253	0,2
ХПК	6,8	35,9	21,61	Не норм
Хлориды	6	23,8	13,15	300
Цинк	0	0,048	0,007	0,01

Общая протяженность водопроводной сети холодного водоснабжения в г. Казани составляет 1695,9 км. Забор, водоподготовка, подача и распределение питьевой воды осуществляются на водозаборе «Волжский». Требования к источникам централизованного

питьевого водоснабжения определены нормативными документами, основополагающим из которых является [52]. Водозабор «Волжский», который обеспечивает 92 % хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Казани, является самым главным производителем воды питьевого качества в г. Казани. В резервуары чистой воды также поступает артезианская вода, добытая на 10 водозаборах и отдельно стоящих скважинах. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении г. Казани составляет около 12 %. Подземные воды (без смешивания с другими водами) используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения отдельных микрорайонов г. Казани: Аки, Дербышки, Кадышево, Нагорный. В остальных случаях применяется смешение вод Волжского и подземных водозаборов, далее смешанная вода по магистральным водоводам подается в водопроводные узлы, далее в городские сети потребителей.

Перед подачей питьевой воды в распределительную сеть проводится анализ химического состава. Качество очищенной воды в целом соответствует нормативным требованиям [108]. Цветность питьевой воды в среднем составляет 11-13 град, взвешенные вещества – 0,58-0,71 мг/дм³, концентрация железа – 0,17-0,18 мг/дм³. Перманганатная окисляемость в отдельные периоды составляет 4,7-4,8 мг/дм³, что практически находится на пределе ПДК.

Анализ нормативных документов [169; 196; 212] показал, что работающие очистные сооружения не были рассчитаны на существующий уровень загрязненности поверхностных вод. Большинство трубопроводов г. Казани находится в эксплуатации с 50-60-х годов XX века, не реализуется их комплексная модернизация.

Техническое состояние эксплуатируемых систем водоснабжения в них находится в основном в неудовлетворительном состоянии (износ сооружений на уровне 60-90 %, оборудования – 40-85 %). Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние водопроводных сетей и их большой износ являются причинами вторичного загрязнения питьевой воды.

Большая часть показателей проб питьевой воды соответствуют нормам [195], но зафиксированы и отклонения от действующих нормативов. В таблице 2.5 приведены средние концентрации ионов (мг/дм³), которые характеризуются повышенным фоном, поступающие преимущественно в процессе водоподготовки в составе коагулянта (ионы алюминия), поступающие в процессе вторичного загрязнения питьевых вод (ионы железа и меди) и характеризующие физиологическую полноценность состава питьевых вод (ионы магния и фторид-ионов).

Таблица 2.5 – Содержание ряда ионов в питьевой воде по точкам пробоотбора, мг/дм³

№	Al ³⁺	Fe ³⁺	Mg ²⁺	Cu ²⁺	F ⁻
1	0,275	0,034	13,3	0,0059	0,107
2	0	0,051	20,1	0,0056	0,338
3	0,271	0,104	17,13	0	0,089
4	0	0,051	20,1	0,0056	0,338
5	0,278	0,070	14,3	0,0048	0,105
6	0,266	0,144	15,1	0,0069	0,115
7	0,294	0,095	14,5	0,0059	0,115
8	0,304	0,100	15,2	0,0059	0,112
9	0,294	0,113	14,7	0,0051	0,127
10	0,284	0,065	13,9	0,0054	0,114
11	0,321	0,139	14,7	0,0061	0,122
12	0	0,111	22,0	0,0062	0,210
14	0	0,012	31,8	0,0056	0,331
15	0	0,011	31,4	0,007	0,334
16	0	0,184	23,9	0,008	0,195
17	0,317	0,107	15,0	0,0059	0,117
18	0,276	0,123	14,0	0,0057	0,113
19	0,419	0,104	13,0	0,0049	0,119
20	0,270	0,059	14,2	0,007	0,115
21	0,305	0,094	14,7	0,0055	0,108
22	0,320	0,081	15,1	0,0056	0,105
23	0,301	0,095	15,0	0,0075	0,120
24	0,307	0,066	15,4	0,0072	0,118
25	0,197	0,05583	15,07	0,001	0,133
26	2,580	0,091	15,2	0,0052	0,138
27	0	0,09	11,91	0,001	0,129

Особенностью действующей системы санитарно-гигиенического нормирования компонентов окружающей среды является то, что нормативными документами предусмотрено регламентирование содержания отдельных загрязняющих веществ в водных объектах. Совокупное действие нескольких веществ не нормируется. Поэтому разработка подходов для учета комплексного загрязнения питьевых вод в процедуре нормирования является актуальнейшей задачей [102].

2.6. Методы химического анализа поверхностных вод исследуемых водных объектов

Оценка качества поверхностных природных вод проводится с использованием данных о химическом составе воды, физических свойствах и органолептических показателей. Совокупность показателей определяется целью водопользования и видами антропогенного воздействия (какие вещества поступают, в каком количестве). Однако, независимо от программы мониторинга состояния водного объекта, оценка качества воды осуществляется по основным показателям, к которым относятся органолептические показатели (запах, мутность,

цветность, прозрачность), минерализация, жесткость, содержание органических веществ, неорганических компонентов, состав ионов, щелочность.

Отбор проб поверхностных вод и их анализ с целью определения основных гидрохимических показателей в ретроспективе лет (2014-2021 гг.) проводился в рамках единой программы исследований в соответствии с общепринятыми методиками. Для отбора проб применялось стандартное оборудование [50; 53]. Пробы отбирались вручную с применением батометра. Посуда была подготовлена в соответствии с [51]. Использовались подготовленные стеклянные бутылки, которые ополаскивались природной водой и заполнялись до верха. Средний объем пробы составлял 1,5 л. Пробы, подвергающиеся хранению, закрывались таким способом, чтобы не было контакта отобранной воды с пробкой. Для фильтрования проб использовались мембранные фильтры с необходимым размером пор (0,45 мкм). Использованные методы определения гидрохимических показателей представлены в приложении 7.

Содержание растворенного кислорода определялось йодометрическим методом в соответствии с [143]. Метод основан на реакции кислорода в щелочной среде с гидроксидом марганца (II). Гидроксид марганца количественно связывает кислород и при этом переходит в соединение марганца (IV). Далее необходимо подкислить пробу. В подкисленной пробе в условиях высокого содержания иодида калия образуется йод. Содержание йода определялось методом титрования раствором тиосульфата натрия. Количество образовавшегося йода эквивалентно концентрации O_2 в пробе.

Определение БПК₅ основывалось на определении содержания O_2 в отобранных пробах после отбора и после инкубации в течение 5 суток [148]. Инкубация проводилась в бескислородной среде в той посуде, которая использовалась для определения растворенного кислорода в течение времени, которое необходимо для реакции биохимического окисления. Через 5 суток инкубации определялось содержание остаточного растворенного O_2 (среднее арифметическое по каждой склянке, где проводилась инкубация). Значение БПК₅ (мг/дм³) определялось как разница между содержанием O_2 (мг/дм³) в начальной пробе и концентрацией O_2 (мг/дм³) по прошествии пяти дней инкубации.

ХПК определялось в соответствии с [154] фотометрическим методом при окислении органических компонентов и ряда неорганических веществ бихромат-ионом. Реакция протекала в кислой среде при обеспечении нагревания в присутствии сернокислого серебра. Принцип определения основан на оценке уменьшения или увеличения оптической плотности растворов в зависимости от длины волны.

Общая жесткость поверхностных вод определялась методом комплексометрического титрования в соответствии с ПНД Ф14.1:2:3.98-97, вносился индикатор эриохром черный Т.

Для определения содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} применялся метод комплексонометрического титрования. Титрование проводилось в присутствии эриохрома черного Т для определения содержания суммы ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Далее проводилось титрование с индикатором кальцеином для определения содержания Ca^{2+} . Затем рассчитывалось содержание Mg^{2+} (по разности).

Массовая концентрация гидрокарбонатов измерялась титриметрическим методом. Метод основан на реакции гидрокарбонатных ионов с сильной кислотой. Результатом является образование слабой угольной кислоты. Проба титровалась раствором соляной кислоты до рН 4,5. При помощи рН-метра обеспечивалась индикация точки эквивалентности. При обратном титровании для удаления CO_2 добавлялся избыток соляной кислоты. Затем титровали раствором тетрабората натрия [158].

Концентрация иона аммония определялась в соответствии с [157] фотометрическим методом с реактивом Несслера:



Содержание взвешенных веществ определено гравиметрическим методом в соответствии с [156]. Отфильтрованные взвешенные вещества высушивались при температуре 105°C до постоянной массы. Прокаливание до постоянной массы проводилось в муфельной печи при температуре порядка 600°C . Затем взвешивался осадок на фильтре. Содержание органических веществ определялось как разница массы сухого и прокаленного остатка.

Для определения рН исследуемых проб применялся потенциометрический метод [147]. Формальдегид в исследуемых пробах определяли фотометрическим методом в соответствии с [142]. Нефтепродукты в исследуемых пробах определяли в соответствии с [140]. Хлорид-ионы определяли меркуриметрическим методом в соответствии с [146]. Взвешенные вещества гравиметрическим методом в соответствии с [144].

Гидрохимические показатели за период 2014-2021 гг. определялись в период весеннего половодья и в летне-осеннюю межень. Диапазоны значений гидрохимических показателей исследуемых водных объектов приведены в приложении 8. Колебания содержания аммония в исследуемых пробах зафиксированы от $0,05 \text{ мг/дм}^3$ (р. Волга, 1 км выше водозабора) до $2,31 \text{ мг/дм}^3$ (р. Казанка, третья транспортная дамба). Ярво выражена суточная и сезонная динамика величины БПК₅, что связано с динамикой кислорода и температурным фактором. При повышении температуры на 10°C скорость биохимического потребления кислорода увеличивается в 2-3 раза. Могут быть значительными изменения БПК₅ при загрязнении органическими компонентами сточных вод предприятий. В исследуемых пробах колебания БПК₅ составили от $0,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (р. Волга, 1 км выше водозабора, р. Волга, створ выше

г. Зеленодольск, правый берег р. Ашит, с. Алан-Бексер, р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань, р. Казанка, 3-я транспортная дамба р. Меша, с. Карадули, р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р., р. Свяга, мост на автодороге М 7 р. Сулица) до 21,7 мг/дм³ (р. Казанка, Усады). Колебания концентраций взвешенных веществ составили от 0,5 мг/дм³ (р. Волга, 1 км выше водозабора) до 608 мг/ дм³ (р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р.). Содержание гидрокарбонатов в исследуемых пробах колебалось от 11 мг/дм³ (р. Меша, с. Карадули, р. Кама, с. Сорочьи Горы) до 526 мг/дм³ (р. Кама, с. Сорочьи Горы). Содержание железа от 0,0006 мг/дм³ (р. Меша, с. Карадули) до 3,87 мг/дм³ (Свяга, мост на автодороге М 7) при значении ПДК 0,1 мг/дм³. Содержание кальция (ПДК 180,0 мг/дм³) в исследуемых водах колебалось от 3,52 мг/дм³ (р. Ашит, с. Алан-Бексер) до 315 мг/дм³ (р. Меша, с. Узьяк). Содержание кислорода, растворенного в воде (ПДК не менее 6 мгО₂/дм³), составило от 2,58 мг/дм³ (р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань) до 21,5 мг/дм³ (р. Сулица). Магний (ПДК 40 мг/дм³) обнаружен в пределах от 0,12 мг/дм³ (р. Кама, с. Сорочьи Горы) до 1060,12 мг/дм³ р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р.). Марганец (ПДК 0,01 мг/дм³) обнаружен в пределах от 0,001 мг/дм³ (р. Ашит, с. Алан-Бексер) до 0,9 мг/дм³ (р. Казанка, 3-я транспортная дамба); медь (ПДК 0,001 мг/дм³) от 0 мг/дм³ до 0,0056 мг/дм³ (р. Свяга, мост на автодороге М 7). Содержание нефтепродуктов (ПДК 0,05 мг/дм³) варьировало от 0 до 0,98 мг/дм³ (р. Меша, с. Карадули). Содержание никеля менялось (ПДК 0,01 мг/дм³) от 0 мг/дм³ до 0,006 мг/дм³ (р. Ашит, с. Алан-Бексер, р. Казанка, с. Усады, р. Свяга, мост на автодороге М 7). Концентрация нитратов (ПДК 40,0 мг/дм³) колебалась от 0 мг/дм³ до 27,5 мг/дм³ (р. Волга, 1 км выше водозабора); нитритов (ПДК 0,08 мг/дм³) от 0 мг/дм³ до 0,059 мг/дм³ (р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р.). Показатели минерализации варьировали от 33 мг/дм³ (р. Ашит, с. Алан-Бексер) до 1550 мг/дм³ (р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р.). Содержание свинца (ПДК 0,006 мг/дм³) менялось в пределах от 0 до 0,01 мг/дм³ (р. Свяга, мост на автодороге М7). Содержание сульфатов (ПДК 100,0 мг/дм³) менялось от 0,3 (р. Ашит, с. Алан-Бексер) до 721 мг/дм³ (р. Сулица). Содержание фенола (ПДК 0,001 мг/дм³) варьировалось от 0 мг/дм³ до 0,008 мг/дм³ (р. Кама, с. Сорочьи Горы), содержание фосфат-ионов (ПДК 0,2 мг/дм³) от 0,022 мг/дм³ до 1,05 мг/дм³, что значительно выше ПДК (р. Меша, с. Карадули). Показатели ХПК менялись от 0 мг/дм³ до 88 мг/дм³ (р. Меша, с. Карадули). Содержание хлоридов (ПДК 300,0 мг/дм³) варьировалось от 2,1 мг/дм³ (р. Кама, с. Сорочьи Горы, р. Меша, с. Узьяк Тюлячинского м.р.) до 70 мг/дм³ (р. Свяга, мост на автодороге М 7). Содержание цинка (ПДК 0,01 мг/дм³) менялось от 0 мг/дм³ до 0,48 мг/дм³ (р. Ашит, с. Алан-Бексер).

Полученные результаты показывают, что исследуемые водные объекты характеризуются неоднородностью химического состава.

2.7. Методы математического анализа

2.7.1. Использование методов нейросетевой кластеризации

В качестве основного алгоритма кластеризации при оценке природных водных объектов использовалась самообучающаяся и самоорганизующаяся нейронная сеть Кохонена, позволяющая визуализировать результаты кластеризации в виде SOM-карт [289]. Сеть Кохонена (рисунок 2.3) является однослойной сетью, которая состоит из нейронов типа Winner Takes All (WTA- победитель получает все).

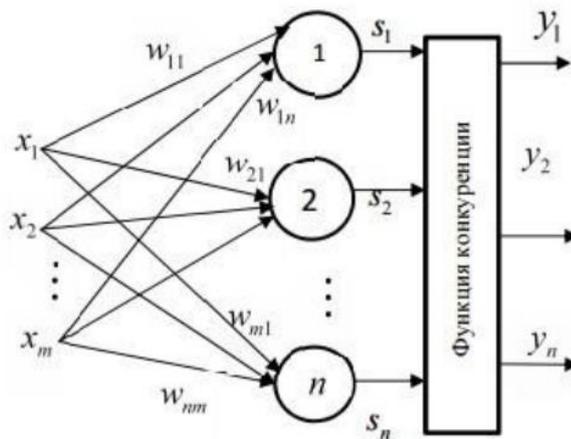


Рисунок 2.3 – Структура сети Кохонена

Обучение сети Кохонена происходит путем выборки значений весовых коэффициентов, которые максимально снижают возникновение ошибок при замене близких входных векторов – вектором весовых коэффициентов. Векторное квантование заключается в компактном представлении многомерных векторов входного пространства. Следует отметить, что при этом используется ограниченный набор векторов меньшей размерности, которые формируют кодовую таблицу. В сети Кохонена используются номера кластеров для кодирования векторов входного пространства. Таким образом, векторы входного пространства заменяют соседние векторы. Каждый нейрон сети соединен с компонентом входного вектора. Как рассматривалось ранее, количество нейронов соответствует количеству кластеров, которые образуют сеть.

Объект кластеризации может быть описан: $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$. Нейроны сети Кохонена описываются с помощью линейных взвешенных сумматоров:

$$s_j = b_j + \sum_{i=1}^n w_{ij} \times x_i, \#(2.1)$$

где j - номер нейрона, i - номер входа, w_{ij} - вес i -го входа j -го нейрона, s_j — выход адаптивного сумматора, b_j — порог. Каждый j -ый нейрон имеет вес $w_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj})$, где n – число

компонентов векторов входного пространства. На выходе сигнал приходит на функцию конкуренции, нейронов типа WTA. Эта функция на выходе обнаруживает адаптивный сумматор с выходным вектором, имеющим наибольшее значение.

В сетях Кохонена при обучении вектор x подается на вход, при этом на выходе получают вектор s с наименее отличным весом. Для определения выходного вектора используется следующее соотношение:

$$d(x, w_j) = \min_{1 \leq i \leq n} d(x, w_i), \quad \#(2.2)$$

где n — количество нейронов, j — номер выходного вектора, $d(x, w_i)$ — расстояние между векторами x и w .

Чаще всего в качестве меры расстояния используют евклидову меру. Значения векторов весов задаются непосредственно перед процессом обучения. Чаще всего это случайные значения весов.

Можно выделить следующие этапы процесса обучения сети Кохонена, которые имеют циклические повторы [131]: подача входного вектора \Rightarrow определение выходного вектора \Rightarrow нахождение нейрона-победителя \Rightarrow корректировка весов нейрона – победителя в соответствии с правилами Кохонена. В случае незавершенного цикла обучения, повтор шагов начинается с первого этапа. При этом целью циклов является получение малой величины ошибки. Нейронные сети Кохонена позволяют визуализировать многомерные векторы раскрашенными двух- или трехмерными поверхностями SOM-картами (Self-organizing map). Раскраска SOM-карт (по аналогии с географическими картами), считается одним из лучших методов визуализации полученных данных. Каждая ячейка имеет свою индивидуальную окраску, при этом окраска ячеек карты зависит от величины среднего значения этого признака [246]. Поэтому сети Кохонена могут найти успешное применение для классификации поверхностных вод, получения диапазонов пороговых концентраций, выделения классифицирующих показателей. Классификация поверхностных вод осуществляется путем кластеризации большого количества входных векторов – результатов измерений гидрохимических показателей исследуемых водных объектов. Визуализация SOM-картами позволяет осуществить совокупный анализ, выделив основные свойства данных для каждого кластера. Достаточность разбиения на кластеры проводят высококвалифицированные в данной предметной области эксперты или автоматическая компьютерная система.

Для проведения необходимых вычислений использовался программный пакет анализа данных Deductor Studio 4.3. Работа проводилась по методике, созданной на ее основе – программе многоуровневой нейросетевой классификации гидрохимических данных с нечеткими элементами на основе экспертного оценивания. На разработанную программу было

получено авторское свидетельство (приложение 9). Данная методика заключается в многократном повторении процедуры классификации сетью Кохонена для наборов данных с недостаточной степенью детализации и состоит из следующих этапов:

1) Формирование кластеров первого уровня каскада. Имеющиеся данные априорно относят к единому кластеру. Если, по мнению эксперта, установлена недостаточная однородность данных, то производится дальнейшее разделение данных на заданное число кластеров.

2) Формирование кластеров второго уровня каскада осуществляется путем анализа данных в каждом выделенном кластере. При обнаружении экспертом неоднородности – данные вновь кластеризуются сетью Кохонена.

Этапы кластеризации, формирующие уровни каскада с повышенной степенью детализации, проводятся до достижения необходимой (по мнению эксперта) однородности данных.

В ходе данного исследования аналитиком может быть специалист предметной области и нейросетевой алгоритм. Нейросетевой алгоритм, с использованием методов статистического анализа, проводит оценку степени однородности полученных данных. Итогом кластеризации является получение SOM-карт, раскраска которых проводилась по значениям каждого входного параметра. Таким образом, число SOM-карт совпадает с размерностью входного вектора для одной и той же обученной сети Кохонена. Интенсивность цвета окраски прямо пропорциональна значению представляемого картой гидрохимического параметра.

2.7.2. Использование методов математической статистики

Соответствующие выборки химических показателей исследуемых вод были сформированы по каждому кластеру. Была проведена обработка данных методами статистики [188], включающая определение медианных значений показателей, средних концентраций, расчет доверительных интервалов, квартильных размахов для каждого исследуемого гидрохимического показателя. Анализ данных, представленных в вариационных рядах, позволил установить для показателей каждого кластера диапазоны значений. Крайние значения диапазонов математического ожидания определены нами как пороги исследуемых показателей (т.е. искомые нормативные показатели). С использованием непараметрического критерия Краскела-Уоллиса оценивалась статистическая значимость различий. Была проведена парная оценка по критерию Манна-Уитни. Процедура Краскела-Уоллиса, по существу, является дисперсионным анализом, основанным на рангах. Пороговые значения всех остальных показателей можно определить по таблицам. Верхний порог соответствует верхнему квартилю вариационного ряда, что составляет 75 %, нижний порог соответствует нижнему квартилю

вариационного ряда, что составляет 25 %. Для проведения расчетов использовалась программа Statistica 10.

2.8. Характеристика компонентного состава сточных вод предприятия

Апробация подходов для модернизации методики расчета нормативов допустимых сбросов была проведена на примере ОАО «Казанский завод синтетического каучука». Завод является старейшим предприятием химической отрасли не только в РТ, но и в РФ. В настоящее время завод является единственным в России производителем и поставщиком одного из ключевых продуктов полибутадиенового производства – латекса и синтетического винилиденхлоридного морозостойкого латекса. Также предприятие производит каучук, используемый в пищевой промышленности и каучук, который применяется в различных отраслях промышленности для производства различных резинотехнических изделий. Завод единственный в России – производитель полисульфидного полимера, силиконового кремнийорганического каучука, полиуретана, строительной продукции, в частности, герметиков, мастик, клея. Специфика сырья и применяемые технологии во многом определяют состав сточных вод предприятия, отводимых в Куйбышевское водохранилище. Сброс сточных вод осуществляется после очистки их на биологических очистных сооружениях в соответствии с [197; 240].

Производственные стоки ОАО «КЗСК» подразделяются на две группы:

I группа сточных вод состоит из промышленных стоков производства каучуков полиэфиров, уретановых каучуков, силиконовых каучуков, тиокола (кроме щелочных вод после отмывки дисперсии тиокола), латекса, герметиков, лаков, диолов, самослипающих материалов, резиновых смесей, а также условно-чистых стоков систем охлаждения, хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод с территории предприятия. Сточные воды I группы от производственных цехов содержат органические и минеральные загрязнения. В состав органических загрязнений входят: формальдегид, этиленхлоргидрин, адипиновая кислота, бутанол, ацетат натрия, фталевый 2-этилгексанол, бутиловый спирт. Основными минеральными загрязнениями являются: сульфаты, сульфиты, сульфиды, полисульфиды натрия, хлорид натрия, гидроксид натрия, серная кислота, борная кислота.

II группа сточных вод состоит из щелочных, смешанных и обработанных стоков производства тиокола после операции отмывки дисперсии. Сточные воды II группы содержат органические и минеральные загрязнения: формаль, этиленхлоргидрин, формальдегид, восстановленные соединения серы (сульфиды, полисульфиды, политионаты, тиосульфаты натрия), гидроксид натрия, хлорид натрия.

На очистных сооружениях цеха производится механическая и биологическая очистка производственных стоков I группы и биологическая очистка производственных стоков II группы, отдельно на двух очередях. Методы определения исследуемых компонентов и показателей в сточных водах ОАО КЗСК приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Методы определения контролируемых показателей в сточных водах ОАО КЗСК

№ пп	Наименование показателя	Метод	Нормативный документ
1	Аммоний-ион	Фотометрическое определение с реактивом Несслера	ПНД Ф 14.1.1-95
2	БПК ₅	Стандартный метод определения	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
3	Взвешенные вещества	Гравиметрическое определение	ПНД Ф 14.1:2.3.110-97
4	Сухой остаток	Гравиметрическое определение	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97
5	рН (водородный показатель)	Потенциометрическое определение	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
6	Кислород растворенный	Иодометрическое определение	ПНД Ф 14.1:2.3.101-97
7	Нефтепродукты	Колоночная хроматография со спектрофотометрическим окончанием; Определение методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием	ПНД Ф 14.1:2.62-96
			ПНД Ф 14.1:2.116-97
8	Нитрат-ион	Фотометрическое определение с салициловой кислотой	ПНД Ф 14.1:2.4-95
9	Нитрит-ион	Фотометрическое определение с реактивом Грисса	ПНД Ф 14.1:2.3-95
11	Сульфиды (сероводород)	Фотометрическое определение с N,N-диметил-п-фенилендиамином	ПНД Ф 14.1:2.109-97
12	Сульфаты	Титриметрическое определение солью свинца в присутствии дитизона	ПНД Ф 14.1:2:3.108-97
13	Сульфаты	Турбидиметрическое определение	РД 52.24.401-2018
14	Формальдегид	Фотометрическое определение с ацетилацетоном	ПНД Ф 14.1:2.97-97
15	Фосфат-ион	Фотометрическое определение восстановлением аскорбиновой кислотой	ПНД Ф 14.1:2;4.112-97
16	Хлориды	Меркуриметрическое определение	ПНД Ф 14.1:2:3:4.111-97
17	ХПК	Титриметрическое определение	ПНД Ф 14.1:2:3:4.100-97
18	АПАВ	Экстракционно-фотометрическое определение	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95, РД 52-24-368-2006

В таблице 2.7. приведены утвержденные нормативы допустимого сброса загрязняющих веществ, поступающих через выпуск 1 ОАО «КЗСК» в р. Волгу.

Таблица 2.7 – Концентрации веществ в сточных водах, допустимые к отведению через выпуск 1 в р. Волгу

№ пп	Наименование веществ	Класс опасности	Допустимая концентрация, мг /дм ³
1.	Взвешенные вещества	Отсутствует	7,75
2.	БПК ₅	Отсутствует	2,0
3.	Нитрат-анион	4э	39,01
4.	Хлорид-анион	4	296,85
5.	Сульфат-анион		100
6.	Фосфаты	4	0,2
7.	Аммоний-ион	4	0,5
8.	Нитрит-анион	Отсутствует	0,08
9.	АПАВ	4	0,42
10.	Сульфид-анион	3	0,005
11.	Формальдегид	4	0,092
12.	Нефтепродукты	3	0,05

Отводимые после очистки сточные воды, имеют следующие характеристики: активная реакция рН в пределах 6,5-8,5; концентрация растворенного кислорода в зимний и летний период – не менее 6 мг/дм³; температура воды не выше, чем на 5 °С по сравнению с естественной температурой водного объекта с общим пределом от 8 до 28 °С; минерализация (сухой остаток) – 1000 мг/дм³; ХПК – не более 30 мг/дм³. Утвержденный расход сточных вод для установления НДС 1607,254 м³/ч. Данные о месте отведения сточных вод приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Координаты и тип выпуска сточных вод

Цель водопользования	Место спуска сточных вод	Расстояние от устья реки до места спуска сточных вод, км	Географические координаты	Тип оголовка выпуска сточных вод	Категория сточных вод
Промышленное	г.Казань, Приволжский район, Победилово	1821	55° 43,7'0 с.ш. 49° 3,2'0 в.д.	Глубоководный	Очищенные

При разработке проекта НДС необходимо учитывать местоположение спуска (береговой, русловой, глубинный); конструктивные особенности системы водоотведения (затопленные,

незатопленные, сосредоточенные, рассеивающие, эжекторные). Тип выпуска сточных вод при расчете нормативов допустимых сбросов, учитывают с применением коэффициента основного разбавления, который рассчитывают по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера. Тип выпуска существенным образом определяет антропогенную нагрузку на водный объект. В частности, сброс недостаточно очищенных сточных вод в береговую зону вызывает аккумуляцию загрязняющих веществ в почве и деградацию зообентоса непосредственно у места сброса [84].

По существу, данные для расчета НДС делятся на следующие группы: гидрологические характеристики водного объекта; гидрохимические показатели качества воды в контрольном створе; технические характеристики спуска (отведения сточных вод); химический, микробиологический состав, а также физические характеристики стока. Информация о рыбохозяйственном значении и категории водного объекта при разработке проекта НДС запрашивается от территориальных органов федерального агентства по рыболовству. Данные о фоновых концентрациях и гидрологических условиях запрашиваются в Федеральном государственном бюджетном учреждении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Информация о составе и свойствах сточных вод, технологиях водоочистки, их эффективности предоставлена по официальному запросу. Перечень нормируемых показателей составляется на основе характеристики технологии производства и применяемого сырья. В этот перечень включаются только те вещества, в отношении которых действуют меры государственного регулирования. Необходимо подчеркнуть обязательность требования увязки сброса массы вещества, соответствующей НДС, с расходом сточной, в том числе дренажной воды. Например, уменьшение расхода при сохранении величины НДС будет приводить к концентрации вещества в водном объекте, превышающей ПДК [92].

2.9. Описание методических подходов исследования

Как рассматривалось нами ранее, для получения объективной и однозначной оценки уровня загрязнения водного объекта применяются комплексные показатели, включающие наиболее репрезентативные и информативные, но при этом разнородные гидрохимические показатели. Действующие подходы к определению комплексных показателей для оценки качества природной воды рассчитаны на применение линейных зависимостей, которые далеко не всегда наблюдаются в установленных диапазонах концентраций. Проблема определения диапазонов региональных пороговых концентраций, учитывающих изменчивость состояния поверхностных вод, по нашему мнению, решается с помощью фиксации относительно стабильных во времени и пространстве гидрохимических показателей. Нами предлагается подход к разработке региональных нормативов качества на основе пороговых значений

информативных гидрохимических показателей с помощью эмпирического и статистического исследования, нейросетевых технологий, экспертной оценки.

Как рассматривалось ранее, метод нейросетевой кластеризации использовался для выделения классов вод с однородными гидрохимическими показателями. Инструментом кластеризации являлись сети Кохонена, которые позволяют выявлять однородные группировки данных, осуществлять визуализацию результатов кластерного анализа.

Региональные природно-антропогенные особенности поверхностных вод учитывались с помощью пороговых значений гидрохимических показателей, обоснованных методами вариационной статистики. Выделение классифицирующих показателей, вносящих наибольший вклад в изменчивость гидрохимического состава исследуемых поверхностных вод, осуществлялось путем визуализации SOM-картами и проведения факторного анализа.

Уровень загрязненности поверхностных вод определялся с использованием УКИЗВ. Расчет проводился по гидрохимическим показателям обязательного перечня РД 52.24.643-2002: растворенный в воде кислород; БПК₅; ХПК; фенолы; нефтепродукты; нитрит-ионы; нитрат-ионы; аммоний-ион; железо общее; медь; цинк; никель; марганец; хлориды; сульфаты. Согласно предлагаемой нами методике, к этому перечню добавляются показатели (вещества), присутствующие в нормируемом стоке, если они отсутствуют в обязательном перечне. В качестве нормативного значения гидрохимических показателей были использованы ПДК_{р/х} [170]. При модернизации методики вместо ПДК_{р/х} применены региональные пороговые концентрации для веществ двойного генезиса, обоснованные с применением методов нейросетевой кластеризации и вариационной статистики.

На первом этапе был рассчитан обобщенный оценочный балл S_{ij} по каждому ингредиенту. Он рассчитывался как произведение частных оценочных баллов по повторяемости случаев загрязненности и средней кратности превышения ПДК_{р/х}:

$$S_{ij} = S_{\alpha ij} \cdot S_{\beta ij}, \#(2.3)$$

где $S_{\alpha ij}$ – частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности i -м ингредиентом в j -м створе за рассматриваемый период времени; $S_{\beta ij}$ – частный оценочный балл по кратности превышения ПДК_{р/х} i -го ингредиента в j -м створе за рассматриваемый период времени.

Обобщенный оценочный балл дает возможность учесть одновременно значения наблюдаемых концентраций и частоту обнаружения случаев превышения порога по каждому ингредиенту. Большому его значению соответствует более высокая степень загрязненности воды.

Комбинаторный индекс загрязненности воды рассчитывали по следующей формуле:

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_i} S_{ij}, \#(2.4)$$

где S_j – комбинаторный индекс загрязненности воды в j -м створе; N_j – число учитываемых в оценке показателей.

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рассчитывается по формуле:

$$S_{уд.} = \frac{S_j}{N_i}, \#(2.5)$$

где $S_{уд.}$ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды в j -м створе; S_j – комбинаторный индекс загрязненности воды в j -м створе; N_j – число учитываемых в оценке показателей.

Согласно [186] методология расчета удельного комбинаторного индекса может быть использована для обработки и обобщения информации о химическом составе природных вод с целью получения комплексной оценки их степени загрязненности. Для комплексной оценки вод питьевого качества, приготавливаемых из поверхностных вод, также можно использовать методологию расчета УКИЗВ [186], как наиболее полно охватывающую вероятностные и пороговые подходы при оценке качества вод.

Методика расчета нормативов допустимого сброса с учетом природно-антропогенных особенностей основана на предположении о том, что значимых изменений в гидрохимическом составе природных вод не происходит в результате сброса сточных вод, если сохраняется изначальный класс качества воды. Соответственно, значения пороговых концентраций при расчете НДС должны подбираться таким образом, чтобы формирующиеся после сброса концентрации веществ в поверхностных водах сохраняли класс качества природных вод, определенный по УКИЗВ.

В соответствии с действующей методикой расчет $НДС_i$ произведен по формуле:

$$НДС_i = q * C_{НДС_i}, \#(2.6)$$

где q – максимальный часовой расход сточных вод, $м^3/ч$; $C_{НДС_i}$ – концентрация i -го вещества, которая может быть допущена в сточных водах, $г/м^3$.

Используя пошаговую итерацию, увеличивали концентрации каждого сбрасываемого показателя на 10 %. На каждом шаге рассчитывали УКИЗВ с определением класса качества. Если новый класс качества воды сохранялся в пределах начального, то повторяли шаг. Расчет следует повторять до получения таких концентраций, которые дают переход воды из одного класса качества (по показателю УКИЗВ) в другой класс качества воды. При расчете меняются концентрации только веществ, присутствующих в составе сточных вод. Для расчёта допустимой концентрации i -го вещества в сточных водах ($C_{НДС_i}$) мы предлагаем использовать

верхний порог значений ряда гидрохимических показателей (верхний квартиль), что позволяет учесть региональные особенности для веществ двойного генезиса. Этапы исследования представлены на рисунке 2.4.

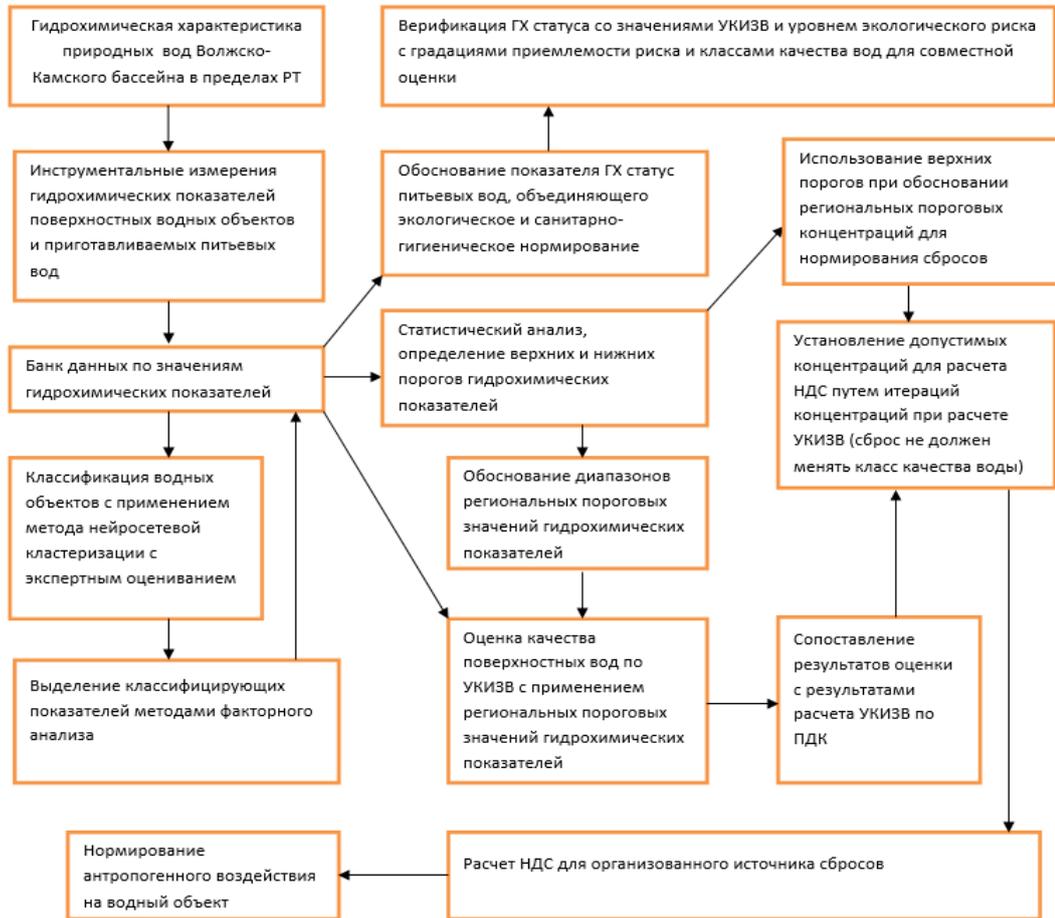


Рисунок 2.4 – Этапы разработки системы комплексных показателей и нормативов качества и воздействия для природных вод в урбоэкосистеме

Представленные на рисунке 2.4. этапы исследования, позволяют учесть тесную взаимосвязь поверхностных, питьевых, сточных вод в урбоэкосистеме, а также осуществлять оценку и региональное нормирование с учетом природно-антропогенных особенностей поверхностных вод, что необходимо при принятии управленческих решений для минимизации антропогенного воздействия на водные объекты.

Глава 3. Классификация поверхностных вод и определение региональных пороговых значений гидрохимических показателей

С накоплением фактических данных о различии гидрохимических показателей на локальных участках водных объектов и совершенствованием аналитических возможностей их измерения и обработки результатов с использованием методов хемометрии появилась возможность реализации принципиально новых подходов к нормированию качества поверхностных вод на региональном уровне [272; 274; 277].

Некоторые авторы для определения величины диапазона значений региональных пороговых концентраций предлагают использовать, в частности, 30 % добавочное приращение к фоновой концентрации, с диапазоном $C_f - 1,3 - C_f$ [34]. На наш взгляд, любые подходы с вовлечением неких эмпирических коэффициентов умозрительны, трудны в обосновании и излишни, так как все необходимые оценки можно осуществить статистически, на достаточно большом фактическом материале, используя для этого квартильный размах или дисперсию.

Предложен подход для определения региональных нормативов качества поверхностных вод с использованием интеллектуальных нейросетевых моделей на основании рядов данных экспериментальных наблюдений для учета природных и антропогенных особенностей распределения гидрохимических показателей и сезонного изменения состояния водных объектов.

3.1. Описание метода определения региональных пороговых значений гидрохимических показателей в поверхностных природных водах

На начальном этапе имеющиеся наборы измеренных гидрохимических показателей различных водных объектов конкретного водного бассейна кластеризуются, то есть распределяются на более или менее однородные группы. Оценка степени детализации разбиения проводится экспертом (специалистом в данной предметной области). Таким образом, с учетом мнения эксперта определяются классы природных вод с однородными гидрохимическими показателями и с заданной степенью детализации. Как рассматривалось ранее, кластеризация проведена с применением нейронных сетей Кохонена, преимущество которых является способность к дообучению при поступлении новых данных, и выделение неоднородных групп с заданной степенью точности с применением алгоритма подобного алгоритму k -средних. Кроме того, достоинством данной модели является простота визуализации, что упрощает качественную интерпретацию для экспертов в дальнейшем [208]. В результате разведывательных экспериментов по сравнению точности алгоритмов кластеризации (K -means, иерархическая агломеративная и делительная кластеризация и SOM),

точность алгоритма SOM оказалась выше на 11 %. Сравнение проводилось по критериям разделяемости (FM-критерий) и плотности (SWC-критерий) кластеризации [87].

Разработанный метод нейросетевой кластеризации с нечеткими элементами и экспертным оцениванием для классификации поверхностных вод и выделения региональных пороговых значений гидрохимических показателей состоит из трех вычислительных блоков и двух блоков проверки условий [222].

Первый вычислительный блок представляет собой кластеризующий алгоритм с последующей двумерной визуализацией SOM-картами. В этом блоке осуществляется предварительная обработка входных векторов, производится грубое разбиение значений гидрохимических показателей на группы. Алгоритм может использоваться как самостоятельно, так и в качестве элемента второго вычислительного блока. Второй блок для вычисления представлен деревом кластеризующих алгоритмов на основе нейросети Кохонена, являющихся последовательными и упорядоченными. Они, по мере необходимости, осуществляют более глубокую детализацию группировок. Этот блок применяется для группировки данных с повышенной точностью. Третий вычислительный блок является вспомогательным, в нем осуществляется кодирование данных типа «дата-время» для адекватного расчета расстояний между кластеризуемыми векторами, для учета сезонности, он не может использоваться самостоятельно.

Для адекватного расчета расстояний между такими векторами данных был разработан специальный метод кодирования, который позволяет представить каждую отдельную дату в виде четырехмерного вектора. Каждый элемент такого вектора показывает, в какой степени данная дата относится к одному из четырех сезонов. Для адекватного расчета расстояний между такими векторами данных был разработан специальный метод кодирования, который позволяет представить каждую отдельную дату в виде четырехмерного вектора. Каждый элемент такого вектора указывает, в какой степени указанная дата относится к одному из четырех сезонов.

Блоки проверки условий используются для переключения между вычислительными блоками. В частности, первый условный блок определяет, требуется ли предварительное кодирование, то есть будет ли использован вспомогательный вычислительный блок; второй условный блок определяет необходимость прямой либо последовательной кластеризации, то есть осуществляет переключение между блоками первого и второго типов.

Метод, таким образом, реализует поэтапную группировку данных в зависимости от заданных условий. Графическое представление метода приведено на рисунке 3.1 [222].

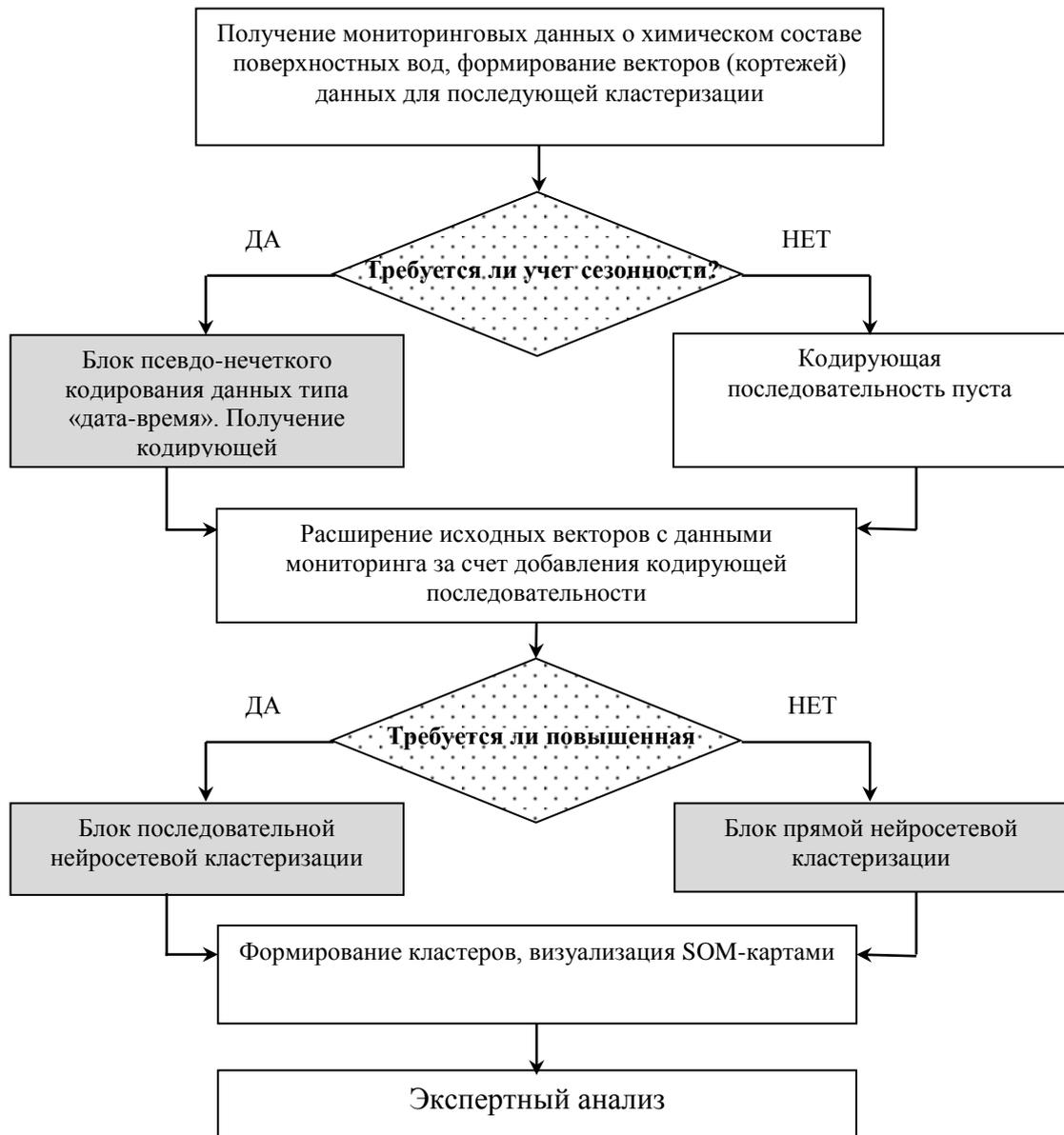


Рисунок 3.1 – Структура взаимодействия блоков метода условной поэтапной группировки мониторинговых данных

Блок прямой нейросетевой кластеризации представляет собой двухслойную самоорганизующуюся нейронную сеть типа «сеть Кохонена». Способ расположения нейронов – двумерная прямоугольная решетка. Обучается по модифицированному алгоритму «победитель получает все» с последовательно уменьшающейся мерой соседства согласно формуле:

$$\Delta w_{i^*}^T = \eta \Lambda(|i - i^*|)(x^T - w_{i^*}), \#(3.1)$$

где $\Delta w_{i^*}^T$ – приращение вектора весов нейрона i^* ; i^* – нейрон-победитель для входного вектора x ; w_{i^*} – вектор весов нейрона i^* . Нейрон – победитель выбирается из условия, что его вектор весов, w_{i^*} находится ближе к данному входному вектору x , чем у всех остальных нейронов: $|w_{i^*} - x| \leq |w_i - x|$ для всех i . $|i - i^*|$ – расстояние от произвольного нейрона i до нейрона-

победителя; $\Lambda(|i - i^*|)$ – функция соседства. Данная функция равна единице для нейрона – победителя с индексом i^* и уменьшается с расстоянием по закону:

$$\Lambda(\alpha) = \exp\left(\frac{-\alpha^2}{\sigma^2}\right), \#(3.2)$$

η – скорость обучения, σ – радиус взаимодействия нейронов [222].

Блок поэтапной нейросетевой кластеризации осуществляет построение дерева связанных между собой нейросетевых кластеризующих алгоритмов с увеличением степени точности группировки на каждом уровне дерева. Анализ полученных в результате кластеризации групп и их дальнейшая кластеризация (формирование уровней каскада с повышением степени детализации) продолжается до тех пор, пока для всех выделенных групп не будет достигнута приемлемая, по мнению эксперта, степень однородности [222].

Псевдо-нечеткое кодирование данных типа «дата-время» представляет собой алгоритм, заменяющий единственное значение даты-времени вектором из четырех значений, каждое из которых выражает степень принадлежности указанной даты к одному из четырех сезонов. В результате кодирования дата x представляется вектором (последовательностью) $Y=(y_1, y_2, y_3, y_4)$, где 1-2-3-4 – коды времен года, $y_i = f^i(x)$ – степень принадлежности x ко времени года i , $f^i(x)$ – кодирующая функция для времени года i :

$$f^i(x) = \exp\left[-\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i}\right)^2\right], \#(3.3)$$

m_i – числовое значение типа «дата – время», в наибольшей степени соответствующее времени года i ; $\sigma_i = \frac{b_i}{3}$; b_i – максимальное отклонение даты от значения m_i , при котором дата еще соответствует времени года i .

3.2. Проведение вычислительных экспериментов

Для апробации предлагаемого алгоритма использовались значения гидрохимических показателей состава вод поверхностных водных объектов в 12 точках пробоотбора в период с марта 2014 по декабрь 2021 года, что описано в главе 2. Уникальным идентификатором каждого набора данных являлась координата точки пробоотбора. Распределение исследуемых водных объектов по кластерам на основании значений определяемых гидрохимических показателей показано в приложении 10.

Было протестировано два подхода: прямая кластеризация без учета сезонности и последовательная кластеризация с учетом сезонности. Первый подход предполагает минимальное количество вычислений с достаточной точностью группировки. Второй подход требует подключения блока псевдонечеткого кодирования и проведения поэтапной

многоуровневой кластеризации, что увеличивает время и сложность расчетов, но позволяет получить группировки повышенной точности с более тонким разделением типов вод.

Результат группировки на основе прямой нейросетевой кластеризации без учета сезонности приведены ниже. Данные сгруппированы в 4 кластера. Распределение данных по кластерам выполнено следующим образом: кластер 0 содержит 82 наблюдения, кластер 1 содержит 86 наблюдений, кластер 2 содержит 31 наблюдение, кластер 3 содержит 144 наблюдений. Условное визуальное расположение кластеров на SOM-карте представлено на рисунке 3.2.

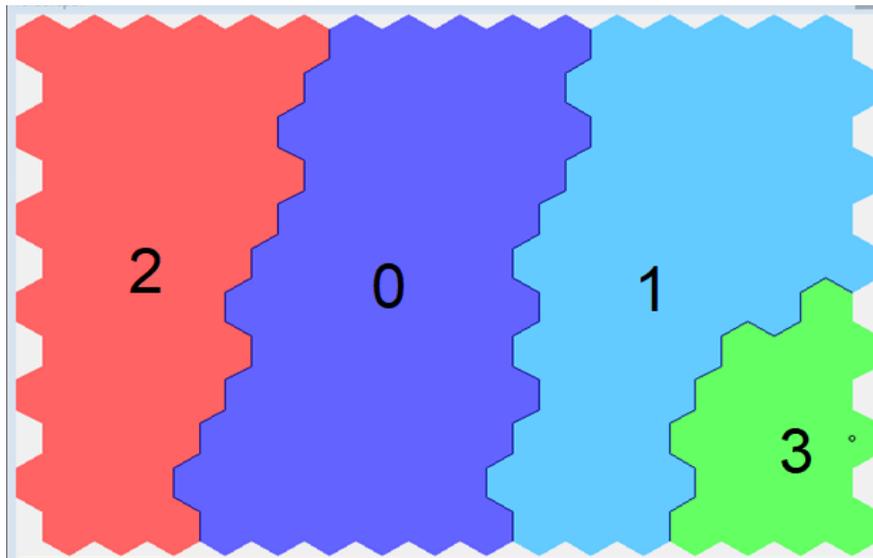


Рисунок 3.2 – Условное расположение кластеров на SOM-карте в результате прямой нейросетевой кластеризации

Основными отличительными особенностями выделенных групп являются:

- жесткость,
- содержание кальция,
- содержание магния,
- минерализация,
- содержание сульфатов,
- электропроводность.

Данные распределения отличительных особенностей на SOM-картах представлены на рисунках 3.3-3.8. На рисунке 3.3 SOM-карта отражает жесткость воды по точкам пробоотбора по кластерам. Более насыщенные цвета SOM-карты отражают более высокое содержание солей жесткости в проанализированных пробах природных вод.

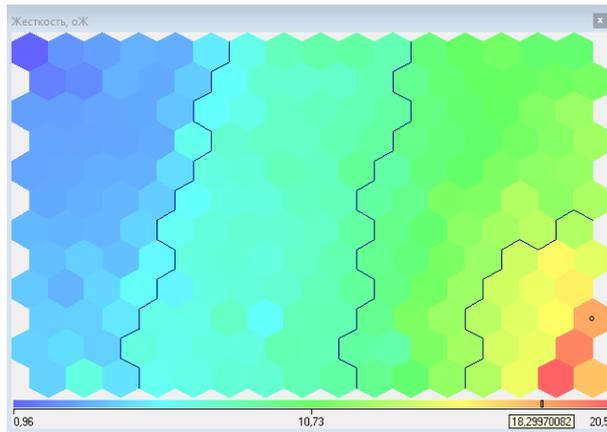


Рисунок 3.3 – Жесткость воды по точкам пробоотбора по кластерам

На рисунке 3.4. SOM-карта отражает содержание кальция по точкам пробоотбора.

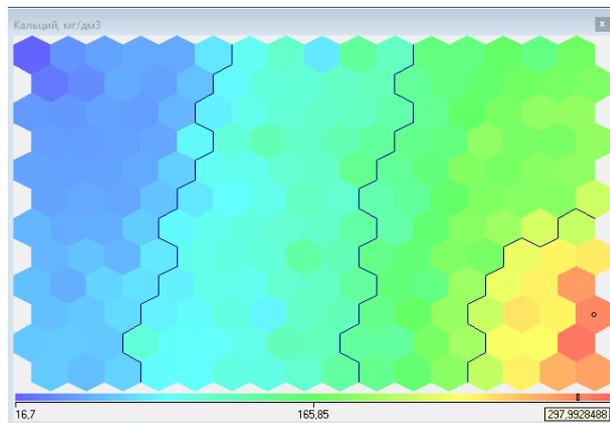


Рисунок 3.4 – Содержание кальция в воде по точкам пробоотбора по кластерам

Характер окраски ячеек SOM-карты, отражающей содержание кальция во многом повторяет окраску SOM-жесткости.

На рисунке 3.5 SOM-карта показывает распределение проб природной воды в зависимости от содержания магния.

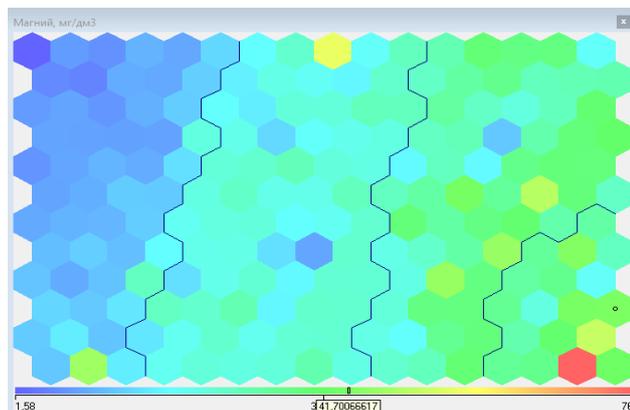


Рисунок 3.5 – Содержание магния по точкам пробоотбора по кластерам

На рисунке 3.6. отражено распределение образцов проб по кластерам в зависимости от минерализации.

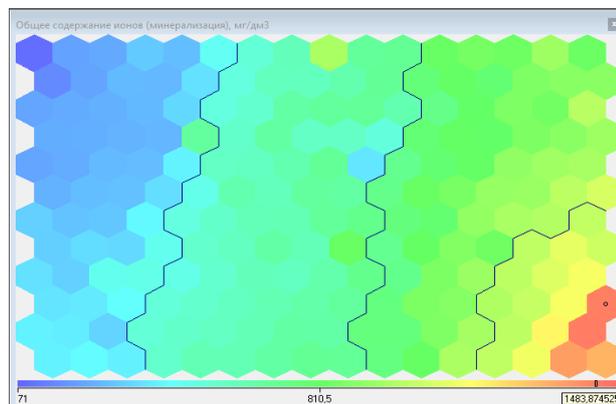


Рисунок 3.6 – Минерализация воды по точкам пробоотбора по кластерам

На рисунке 3.7. отражены результаты кластеризации в зависимости от содержания сульфатов.

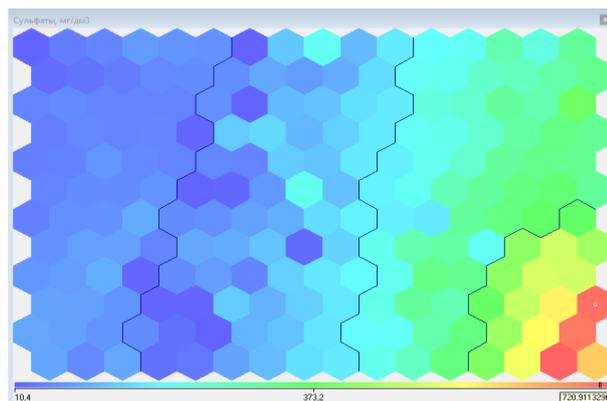


Рисунок 3.7 – Содержание сульфатов в воде по точкам пробоотбора по кластерам

На рисунке 3.8 SOM-карта отражает результаты распределения проанализированных проб воды в зависимости от электропроводности, которая во многом определяется содержанием солей в воде.

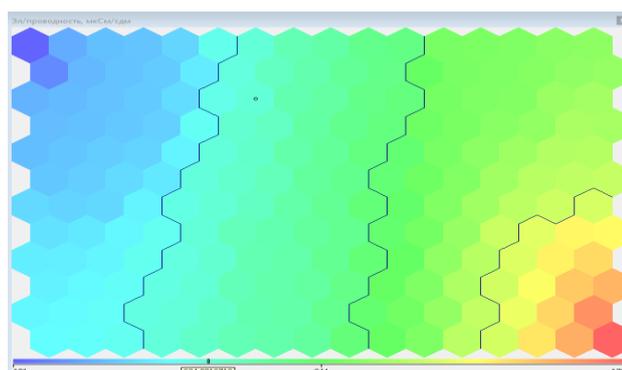


Рисунок 3.8 – Электропроводность воды по точкам пробоотбора по кластерам

В меньшей степени выражены различия по содержанию гидрокарбонатов, что показывает SOM-карта, представленная на рисунке 3.9.

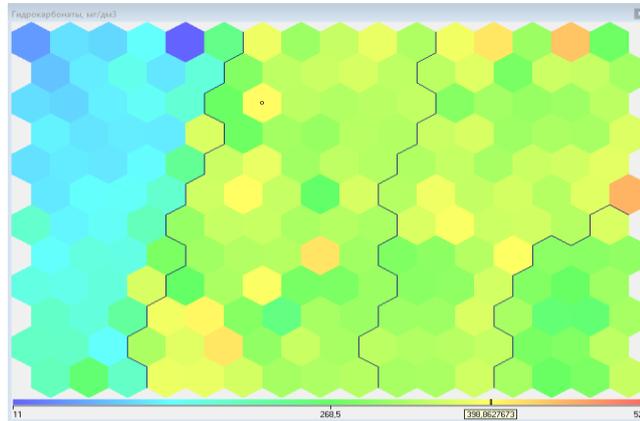


Рисунок 3.9 – Содержание гидрокарбонатов в воде по точкам пробоотбора по кластерам

На основании полученных данных можно сделать вывод о более низких значениях контролируемых показателей в точках пробоотбора, образующих кластеры 0 и 1, при этом качество воды кластера 0 несколько выше, чем 1.

Кластер 3 занимает промежуточную позицию, тогда как воды кластера 2 имеют наиболее высокие значения контролируемых показателей в точках пробоотбора.

Далее рассмотрим результат группировки на основе поэтапной нейросетевой кластеризации с учетом сезонности. На начальном уровне кластеризации при помощи нейронной самообучающейся сети Кохонена (создание первого уровня нейросетевого каскадного фильтра) было определено 4 кластера (рисунок 3.10).

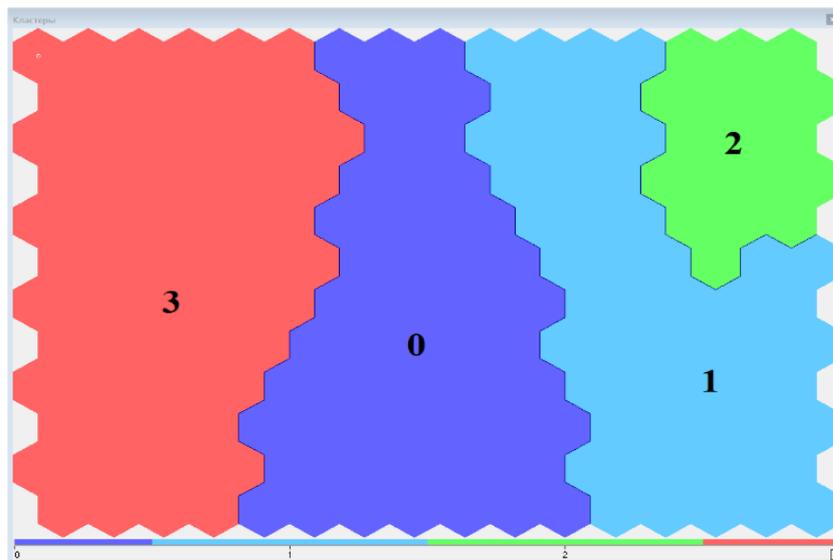


Рисунок 3.10 – Выделенные кластеры начального уровня кластеризации

Распределение по сезонам представлено на рисунке 3.11.

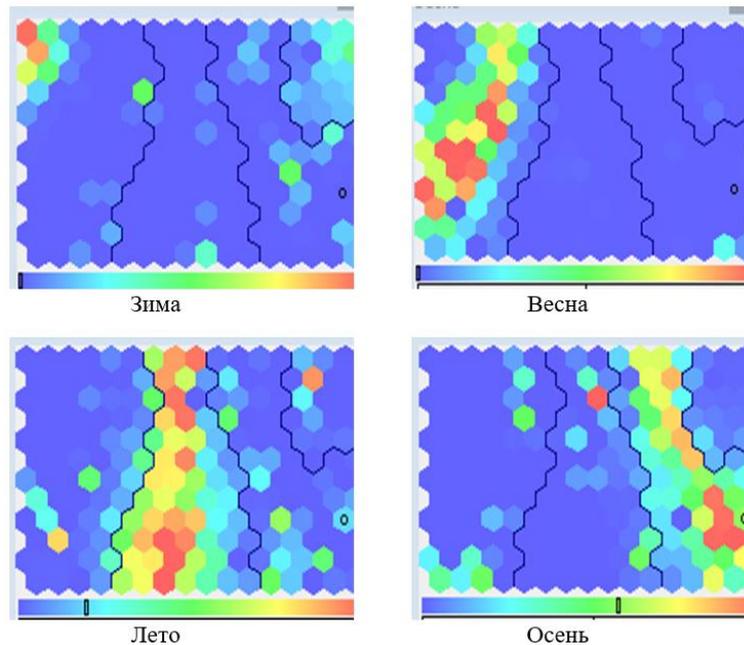


Рисунок 3.11 – Распределение по сезонам

Из данных, представленных на рисунке 3.11 видно, что хорошо прослеживается сильное влияние сезонов на распределение данных.

Полученные SOM-карты по изменчивости содержания исследуемых компонентов в поверхностных водах приведены в приложении 11. На основе анализа SOM-карт можно сделать вывод о случайном и равномерном характере загрязнения вод такими компонентами, как: аммоний ион, взвешенные вещества, железо, никель (единичные точки загрязнения), фенол (единичные точки загрязнения), цинк (единичные точки загрязнения).

Дальнейший анализ проводился на основе изучения оставшихся компонент. Полученная раскраска SOM-карт далее используется как элемент поддержки принятия решений для экспертов предметной области. Для экспертного оценивания необходима интерпретация и анализ данных. Проблема возникает, когда приходится проводить оценку массивов данных, особенно полученных в различные периоды времени в различных условиях. Для экспертной оценки важен перевод численных массивов данных в их геометрические образы, для ускорения процесса анализа. Отображение и визуализация данных с использованием SOM-карт являются ключом к пониманию ситуации, ее анализу и дальнейшему принятию управленческих природоохранных решений. Так, после анализа SOM-карт с раскраской по показателям гидрокарбонатов (приложение 11, № 4), жесткости (приложение 11, №6), кальция (приложение 11, № 7), минерализации (приложение 11, № 16), электропроводности (приложение 11, № 25) и др., эксперты-аналитики пришли к выводу о том, что наборы данных в

кластере 0 обладают недостаточной степенью однородности. Как видно из рисунка 3.12, к кластеру 0 в основном относятся пробы воды, взятые в течение сезона «лето». Неоднородность связана, прежде всего, с показателями, обусловленными содержанием в воде солей. На рисунке 3.13 представлено визуальное условное разделение кластера 0 на три зоны в соответствии со степенью минерализации: от низкого уровня (условная зона I голубые тона раскраски), до повышенного (условная зона III-ярко-зеленые тона раскраски). Условная зона II занимает промежуточную позицию (бледно-зеленые тона). Поэтому было принято решение разбить данный кластер на подкластеры. Количество подкластеров определялось исходя из визуально выделенных неоднородных зон кластера.

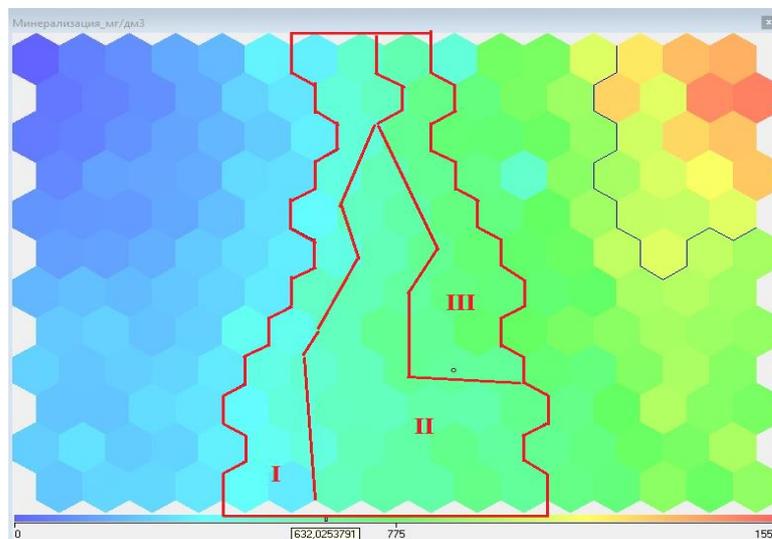


Рисунок 3.12 – Три визуально различимые части кластера 0 (на примере минерализации)

Было произведено разбиение кластера 0 на 3 подкластера (рисунок 3.13).

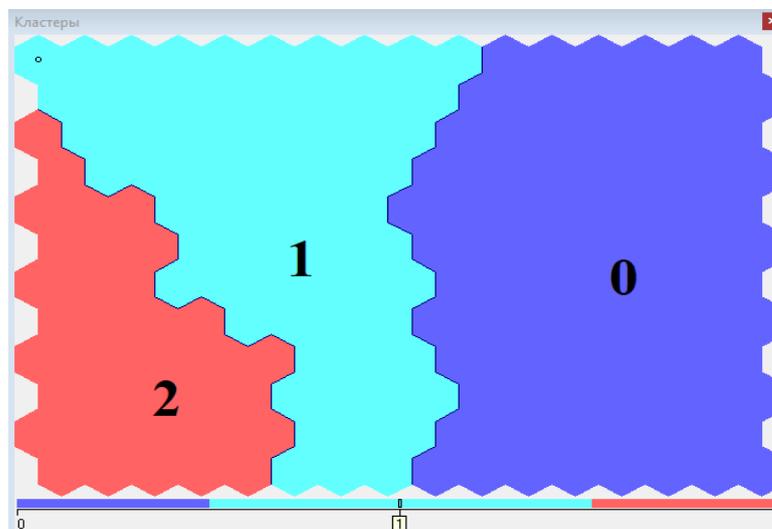


Рисунок 3.13 – Три подкластера кластера 0

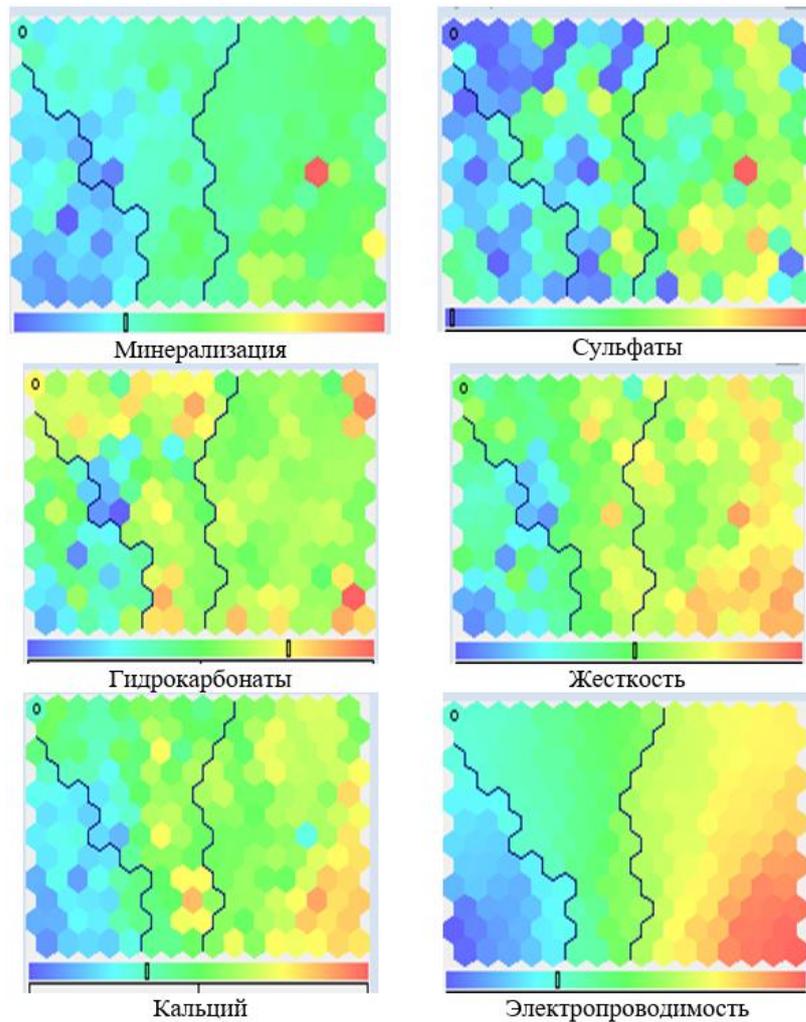


Рисунок 3.14 – Распределение показателей по подкластерам

На рисунке 3.14 представлено распределение показателей по подкластерам для минерализации, сульфатов, гидрокарбонатов, жесткости, кальция и электропроводности, которые в итоге и стали основными классифицирующими показателями.

В результате была построена итоговая модель-дерево с шестью листьями: кластер 0-0, кластер 0-1, кластер 0-2, кластер 1, кластер 2 и кластер 3 (рисунок 3.15).

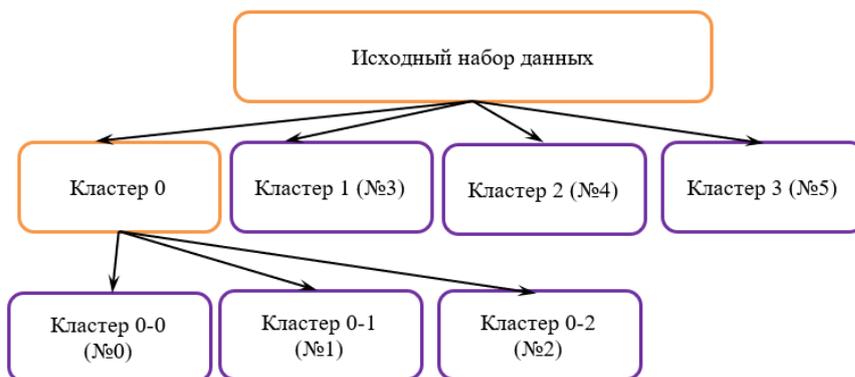


Рисунок 3.15 – Структура дерева последовательной нейросетевой группировки

Соответственно далее необходимо дать 6 качественных оценок – классов поверхностных вод, охватывающих всю изменчивость фонового гидрохимического состава воды Волжско-Камского бассейна.

3.3. Выделение классов поверхностных вод и классифицирующих показателей

На основании проведенного кластерного анализа ставилась задача выделения отличий по рассматриваемым гидрохимическим показателям и определение классов поверхностных вод, охватывающих всю изменчивость гидрохимического состава исследуемых поверхностных вод Волжско-Камского бассейна в пределах РТ.

Проведена оценка значений показателей гидрохимического анализа проб поверхностных вод, отобранных на 12 станциях с охватом всех сезонов за период с 2014 по 2021 гг., перечень которых приведен в главе 2.

Совокупный набор данных составил ряд из 353 наблюдений. Этот ряд был разбит на 6 кластеров с соответствующими выборками: кластер 0 – 47 наблюдений, кластер 1 – 28 наблюдений, кластер 2 – 17, кластер 3 – 86, кластер 4 – 31, кластер 5 – 144 наблюдения.

Кластеры 0, 1 и 2 представлены в основном летними образцами, кластер 3 – осенними, кластер 4 – зимними, а кластер 5 – преимущественно весенними. Оценивалось распределение значений 24 гидрохимических показателей, перечень которых представлен в главе 2.

Из этого перечня были исключены показатели температуры воды, так как они обусловлены сезоном отбора проб и значения концентраций ионов свинца и алюминия в связи с отсутствием их достаточного количества для статистической обработки.

Проведенный факторный анализ позволил рассчитать факторные нагрузки отдельных гидрохимических показателей, которые рассматривались в качестве весов значимости различных переменных в общей их совокупности (факторе) (таблица 3.1.).

Таблица 3.1 – Значимость различных гидрохимических и физических показателей, представленная в виде факторных нагрузок

Показатель	Факторная нагрузка
1	2
Минерализация	0,975
Электропроводность	0,975
Кальций	0,952
Жесткость	0,903
Магний	0,882
Сульфаты	0,857

Продолжение таблицы 3.1

1	2
Гидрокарбонаты	0,820
Нитраты	0,536
Хлориды	0,452
Марганец	0,405
ХПК	0,342
Нитриты	0,186
БПК ₅	0,154
Фосфат-ион	0,132
Железо	0,126
Фенол	0,117
Взвешенные вещества	0,106
Прозрачность	0,088
Цинк	0,069
Кислород	0,052
Нефтепродукты	0,042
Никель	0,037
Аммоний-ион	0,013
Медь	0,012

Факторный анализ позволил подтвердить оценки, сделанные при анализе визуализации SOM-карт, о ведущей роли минерализации воды и солей жесткости в общей изменчивости гидрохимического режима на разных участках исследования. При этом, значения минерализации, общей жесткости, кальция, магния, сульфатов и гидрокарбонатов являются первичными критериями типизации вод, а значения хлоридов, нитратов, марганца и ХПК – вторичными или вспомогательными критериями классификации, что наглядно демонстрируют данные, представленные на рисунке 3.16.

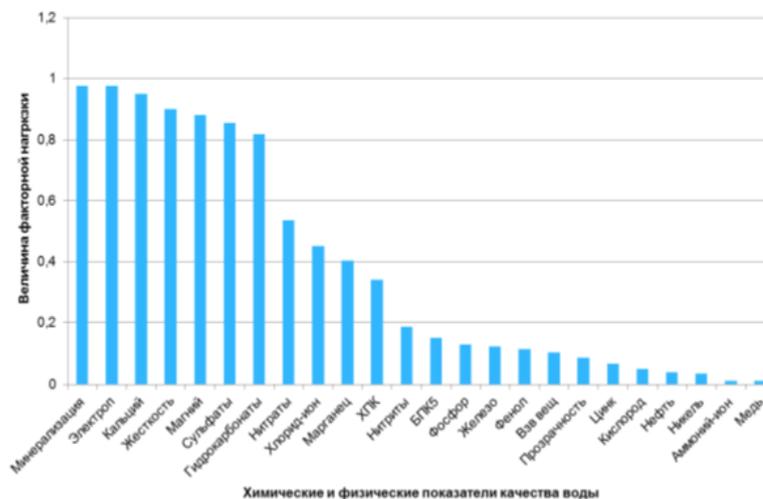


Рисунок 3.16 – Значимость различных гидрохимических показателей, представленная в виде факторных нагрузок

Выделенные критерии послужили основой для характеристики классов вод, отнесенных к тому или иному кластеру. Следует отметить, что рассматриваемые поверхностные воды в соответствии с классификацией О.А. Алекина [3] принадлежат к гидрокарбонатным водам кальциевой группы. Отличия между ними заключаются в уровнях жесткости, минерализации, соотношении сульфатов и гидрокарбонатов, а также в содержании марганца, которые приняты в качестве классифицирующих показателей.

Классы вод, сгруппированные по кластерам, можно охарактеризовать следующим образом:

- класс I: умеренной минерализации, умеренной жесткости, с повышенным содержанием ионов марганца и умеренным содержанием сульфатов;
- класс II: умеренной минерализации, умеренной жесткости, с умеренным содержанием сульфатов и ионов марганца;
- класс III: слабоминерализованная, умеренной жесткости, с умеренным содержанием сульфатов и ионов марганца;
- класс IV: высокой минерализации, высокой жесткости, с повышенным содержанием сульфатов и ионов марганца;
- класс V: высокой минерализации, высокой жесткости, с очень высоким содержанием сульфатов и ионов марганца;
- класс VI: слабоминерализованная, низкой жесткости, с низким содержанием ионов марганца и сульфатов.

Выделенные классы поверхностных вод отражают по совокупности показателей разные гидрохимические условия формирования и функционирования водных объектов в пределах Волжского бассейна, что позволяет учесть эти особенности при нормировании антропогенного воздействия и оценке динамики качества вод.

Сезонность была учтена в нашей модели, в качестве самостоятельного фактора, способного оказывать влияние на величину речного стока, а значит, и на гидрохимический режим в целом. Соответственно, при соотнесении той или иной пробы воды к тому или иному классу учитываются в первую очередь именно диапазоны значений гидрохимических параметров – классификаторов, отнесенных к тому или иному классу. Выделенный нами класс воды – это динамическая характеристика, которая может меняться, в том числе в зависимости от сезона.

3.4. Статистическая характеристика и межкластерная оценка гидрохимических показателей

По каждой кластерной выборке был проведен статистический анализ распределений вариационных рядов показателей, оценены их медианы и квартильные размахи, что позволило выявить диапазоны значений, характеризующих тот или иной кластер показателей. Значения нижнего и верхнего квартиля каждого показателя (25-75 % распределения) было принято использовать в качестве пороговых значений для конкретных кластеров. Статистическая оценка осуществлялась с помощью программы Statistica 10.

Статистическая значимость различий между значениями показателей – критериев в разных кластерах оценивали с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса, с последующей парной оценкой по Манна-Уитни.

Рассчитанные значения критерия Краскела-Уоллиса по показателям-критериям высоко значимы ($p < 0,01$), что подтверждает правильность их выбора в качестве классифицирующих показателей.

В таблице 3.2 приведены пороговые значения классифицирующих показателей, рассчитанные для разных кластеров и которые характеризуют соответствующие этим кластерам классы вод. Как уже отмечалось, в качестве порогов использовались значения нижнего (25 %) и верхнего (75 %) квартилей вариационных рядов показателей. Пороговые значения (пороговый размах) в данном случае характеризует диапазон соответствия значений классифицирующего показателя тому или иному кластеру (классу вод).

Таблица 3.2 – Пороговые значения ряда гидрохимических показателей, рассчитанные в пределах выделенных кластеров

Классифицирующие показатели	Класс I		Класс II		Класс III	
	Нижний порог	Верхний порог	Нижний порог	Верхний порог	Нижний порог	Верхний порог
1	2	3	4	5	6	7
Первичные						
Минерализация	600	672	503	580	407	480
Кальций	104	123	89,9	100	66,4	78,5
Жесткость	7	8,1	6,1	7,1	4,5	6,2
Магний	20,2	28,8	14,3	26,1	13,6	23,9
Сульфаты	97	151	13,5	108,5	15,1	88
Гидрокарбонаты	309	363	291	388,5	184	327
Вторичные						
Нитраты	1,5	9,6	1,66	4,76	0,7	5,8
Хлориды	10	16,2	10,1	15,6	9,1	19,1
Марганец	0,032	0,187	0,022	0,065	0,028	0,065
ХПК	9,9	23	10,7	20,7	15,4	22,1

Продолжение таблицы 3.2

Классифицирующие показатели	Класс IV		Класс V		Класс VI	
	Нижний порог	Верхний порог	Нижний порог	Верхний порог	Нижний порог	Верхний порог
1	2	3	4	5	6	7
Первичные						
Минерализация	750	910	1080	1410	113,5	283
Кальций	137	172	209	266	18,7	49
Жесткость	9	11,5	13,8	17,2	1,2	3,2
Магний	23,6	36,6	28,1	51	3,1	9,7
Сульфаты	197	325	499	668	7,2	58,2
Гидрокарбонаты	303	363	279	351	69,8	137
Вторичные						
Нитраты	1,99	8,3	0,4	8,5	0,66	2,36
Хлориды	13,7	19,2	17,9	23,7	5,3	13,4
Марганец	0,03	0,138	0,027	0,215	0,009	0,03
ХПК	8,6	18,5	9,6	24,1	13,8	30,9

Как показала сравнительная оценка полученных диапазонов, наиболее важными классифицирующими поверхностные водные объекты показателями являются жесткость, минерализация, содержание сульфатов и ионов кальция. Содержание гидрокарбонатов, ионов магния и марганца также важны, но играют корректирующую роль – диапазоны пороговых значений разных классов вод у них во многих случаях пересекаются. Таким образом, квартильные диапазоны являются пороговыми значениями классифицирующих показателей, что позволяет отнести произвольно взятый образец поверхностных вод к тому или иному классу (рисунок 3.15).

Рассчитанные квартильные диапазоны являются порогами классифицирующих показателей, что позволяет отнести произвольно взятый образец поверхностных вод к тому или иному классу. Отнесение к классу можно осуществлять с помощью вероятностного отношения, учитывающего долю показателей образца, соответствующих заданным диапазонам:

$$P_k = \frac{n_k}{N}, \#(3.4)$$

где n_k – число классифицирующих показателей образца, значения которых соответствуют квартильным диапазонам кластера k , N – общее число оцениваемых классифицирующих показателей. Класс воды образца определяется по тому кластеру, значение P_k которого будет наибольшим. На рисунке 3.17. приведены диапазоны пороговых концентраций в $\text{мг}/\text{м}^3$ (горизонтальная ось) по каждому классу вод (вертикальная ось).

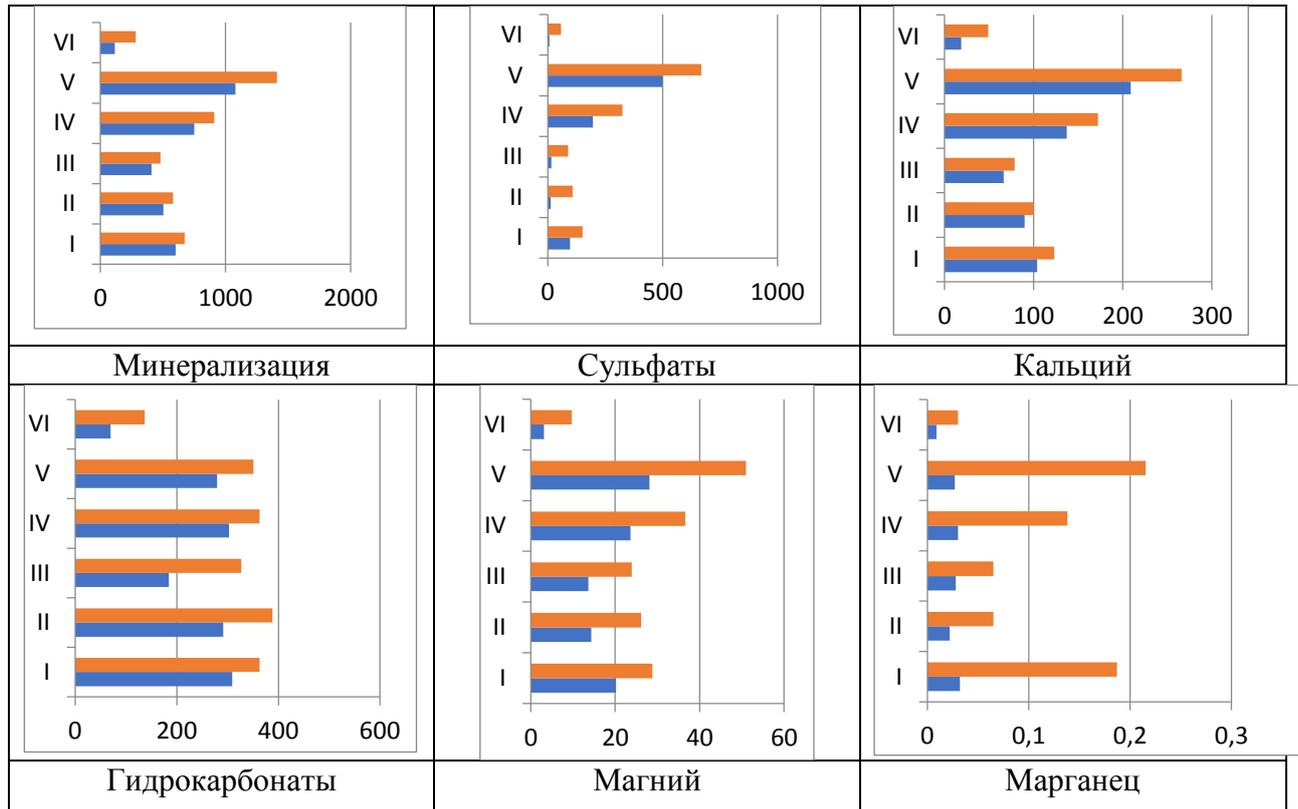


Рисунок 3.17 – Сравнение диапазонов пороговых концентраций основных классифицирующих показателей для разных классов вод (красный цвет – верхние пороги, синий цвет – нижние пороги)

Для отнесения каждой новой пробы воды к определенному классу предложено использовать такую математическую структуру, как «конечный детерминированный автомат», представленный на рисунке 3.18.

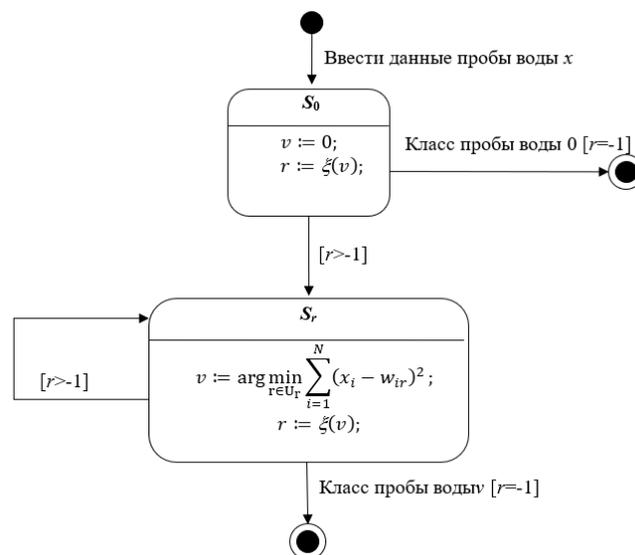


Рисунок 3.18 – Схема конечного детерминированного автомата для отнесения пробы воды к одному из классов

Здесь x – вектор, описывающий пробу воды; S_0 – начальное состояние автомата, соответствующее нераспознанному классу пробы; S_r – состояние автомата, соответствующее проверке на принадлежность пробы к классу r , $\xi(v)$ – функция перехода, задающая последовательность проверки пробы на возможную принадлежность к классам, w_{ir} – веса определяющих кластер r нейронов, v – номер результирующего класса, к которому принадлежит исследуемая проба.

Алгоритм определения класса пробы воды, таким образом, состоит в следующем:

1) Входной вектор x , содержащий результаты измерений пробы воды, подается на вход конечного автомата, который передает его в корневую вершину построенного дерева каскадной нейросетевой классификации.

2) На основе функции перехода (v) автомат определяет класс – кандидат r на проверку принадлежности ему пробы, то есть определяет вершину нижнего уровня нейросетевого каскада, в которую переходит объект x .

3) В вершине r происходит определение номера кластера объекта, после чего конечный автомат вновь определяет вершину нижнего уровня для движения объекта по дереву.

4) Значение функции перехода, равное 1, говорит о том, что достигнута терминальная вершина. Проба воды принадлежит классу с номером v .

Глава 4. Способ комплексной оценки загрязненности поверхностных вод с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды

4.1. Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод с использованием региональных пороговых концентраций

Как рассматривалось нами в главе 1, классификацию качества воды по степени загрязненности проводят с помощью УКИЗВ. Расчет УКИЗВ осуществлялся согласно [186]. При расчете УКИЗВ для каждого показателя рассчитывался обобщенный индекс, как произведение частных оценочных баллов по повторяемости случаев загрязненности и средней кратности превышения ПДК, как описано в главе 2. Обобщенный индекс дает возможность учесть долю влияния того или иного показателя на УКИЗВ. Большему его значению соответствует более высокая степень участия показателя в общей картине загрязнения.

Расчет УКИЗВ проводился по обязательному перечню показателей в соответствии с [186] для каждого выделенного класса вод двумя способами:

- 1) с использованием для всех показателей в качестве порогов значений предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного назначения ($ПДК_{р/х}$);
- 2) с использованием установленных верхних порогов, названных региональными пороговыми концентрациями (РПК), рассчитанных по классифицирующим показателям и $ПДК_{р/х}$ для всех остальных показателей [12; 227].

Результаты проведенных оценок с указанием всего спектра оценочных показателей расчета УКИЗВ по $ПДК_{р/х}$ и пороговым значениям для выделенных классов поверхностных вод представлены в приложениях 12, 13. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что воды Волжско-Камского бассейна вне зависимости от способа расчета УКИЗВ относятся к классам «Очень загрязненная, 3б» и «Грязная, 4а» [80; 137; 210; 227; 228; 229]. В таблице 4.1 представлены значения обобщенных индексов типизирующих показателей, полученные с использованием $ПДК_{р/х}$ и пороговых значений для каждого типа вод.

Таблица 4.1 – Обобщенные индексы классифицирующих показателей, рассчитанные для разных классов вод по $ПДК_{р/х}$ и с использованием порогов

Показатели	класс I		класс II		класс III	
	ПДК	Пороги	ПДК	Пороги	ПДК	Пороги
1	2	3	4	5	6	7
Марганец	12,3	4	10,9	5,9	12	6,4
Нитраты	0	3,4	0	4,2	0	3,9
Сульфаты	5,6	2,9	4	3,3	0	2,8
ХПК	3	4	2,5	3,8	2,3	3,5
Хлориды	0	3,3	0	5,5	0	5,4

Продолжение таблицы 4.1

Показатели	класс IV		класс V		класс VI	
	ПДК	Пороги	ПДК	Пороги	ПДК	Пороги
1	2	3	4	5	6	7
Марганец	12,2	5,5	12,5	4,1	9,2	5,8
Нитраты	0	3,5	0	3,5	0	5,1
Сульфаты	8,3	3,1	9,7	2,8	0	3,4
ХПК	0	3,4	2,9	3,8	3,9	3,7
Хлориды	0	3,1	0	3,3	0	4,5

В связи с тем, что РПК являются верхними границами квартильных размахов природного содержания тех или иных веществ, то в случаях, когда вклад (обобщенный индекс) того или иного показателя в общую картину загрязненности возрастает при использовании РПК, это указывает на нехарактерное для природного распределения концентраций этих веществ состояние и наоборот. Результаты оценки обобщенных индексов позволяют выделить марганец и сульфаты в качестве веществ двойного генезиса, имеющих в основном природное происхождение. Использование их пороговых значений вместо ПДК_{р/х} позволяет значительно снизить вклад этих веществ в общий показатель загрязнения. Если вклад (обобщенный индекс) того или иного показателя в общую картину загрязненности снижается при использовании региональных порогов, то это свидетельствует о том, что центры вариационного распределения значений этих показателей (статистически оцененное природное содержание в воде) расположены вблизи этих порогов, и наоборот, если обобщенные индексы веществ возрастают, то это указывает на нехарактерное для природного распределения концентраций этих веществ состояние. Вклад таких показателей, как нитраты, хлориды и ХПК при использовании для расчета пороговых значений, наоборот, возрастает, что может свидетельствовать о преимущественно антропогенном характере загрязнения в данном случае. Таким образом, классифицирующие показатели корректируют оценку региональных вод, отражающую природно-антропогенные условия формирования их состава.

Если рассматривать значения УКИЗВ, полученные с коррекцией пороговыми значениями, в сравнении со значениями УКИЗВ, рассчитанными с использованием только ПДК_{р/х}, то можно отметить, что показатели, завышающие комбинаторный индекс (марганец, сульфаты) и занижающие его (нитраты, хлориды), при использовании расчета УКИЗВ с учетом пороговых значений разных классов вод, имеют сбалансированные веса (обобщенные индексы), что позволяет рассчитать более адекватные значения УКИЗВ, сохраняя общую характеристику классов качества (таблица 4.2) [227].

Таблица 4.2 – УКИЗВ, рассчитанные для разных классов воды по ПДК_{р/х} и с использованием порогов

Показатели		Класс качества	УКИЗВ	УКИЗВ с учетом КПЗ
I класс	ПДК	Грязная 4а класс	4,8	5,3
	Пороги	Грязная 4а класс	4,6	Нет КПЗ
II класс	ПДК	Грязная 4а класс	4,1	4,5
	Пороги	Грязная 4а класс	4,5	Нет КПЗ
III класс	ПДК	Очень загрязненная 3б класс	3,6	3,9
	Пороги	Грязная 4а класс	4,1	Нет КПЗ
IV класс	ПДК	Грязная 4а класс	4,1	4,5
	Пороги	Очень загрязненная 3б класс	4	Нет КПЗ
V класс	ПДК	Грязная 4а класс	4,6	5,5
	Пороги	Грязная 4а класс	4,1	Нет КПЗ
VI класс	ПДК	Грязная 4а класс	4	4,8
	Пороги	Грязная 4а класс	4,6	5,1

Согласно представленным в таблице 4.2 данным, удельные комбинаторные индексы, рассчитанные с использованием ПДК_{р/х}, для всех классов вод имеют критические показатели загрязнения (КПЗ), тогда как при использовании порогов таких показателей практически нет.

Из данных, представленных в таблице 4.2 (без учета КПЗ), следует, что наиболее загрязненными являются воды I класса. Наименее загрязненными являются воды III класса. Полученные результаты проиллюстрированы на рисунках 4.1 и 4.2. Как следует из представленных результатов, значения УКИЗВ, рассчитанные по региональным порогам для каждого класса поверхностных вод, показывают несколько иное распределение вод по уровню загрязненности, чем расчет $S_{уд}$ по ПДК_{р/х} (рисунки 4.1 и 4.2).

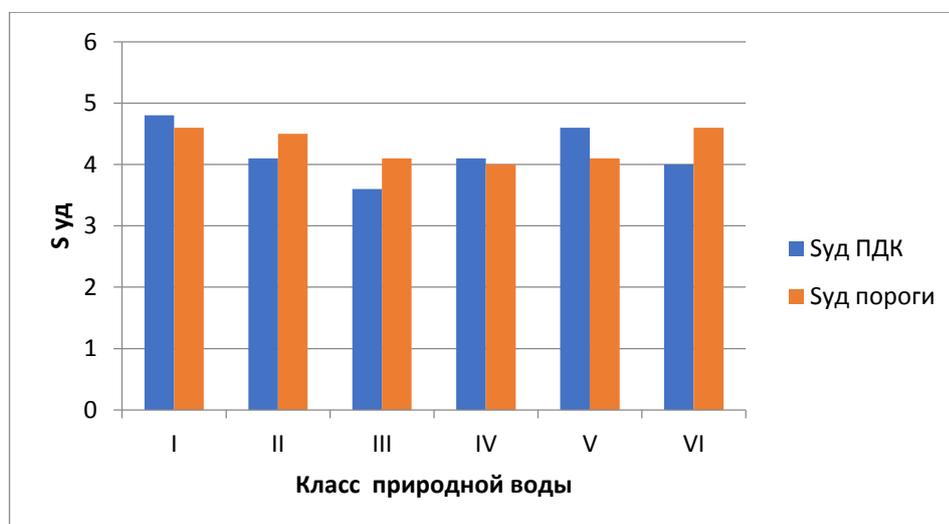


Рисунок 4.1 – Отличия удельного комбинаторного индекса ($S_{уд}$) по ПДК и фону без учета КПЗ

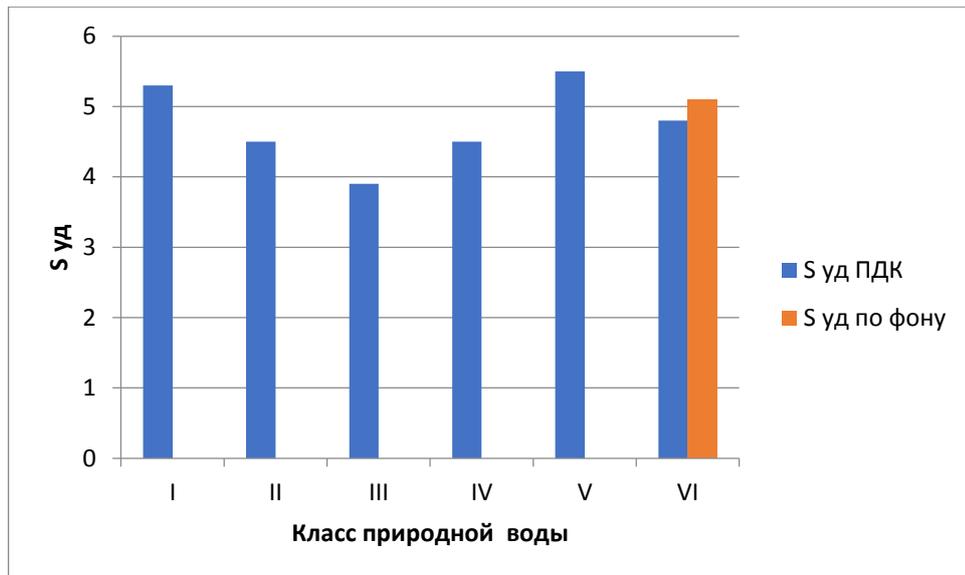


Рисунок 4.2 – Отличия удельного комбинаторного индекса ($S_{уд}$) по ПДК и фону с учетом КПЗ

Тот факт, что пороги, установленные для разных классов вод, позволяют учитывать природно-антропогенные особенности гидрохимического режима отдельных участков Волжского-Камского бассейна предоставляет возможность объективно оценивать классы качества воды на этих участках и точнее рассчитывать абсолютные значения удельных комбинаторных индексов, что в свою очередь, дает возможность для их эффективного использования в алгоритмах оценки динамики качества воды.

Диапазоны значений региональных пороговых концентраций основных и вспомогательных классифицирующих гидрохимических показателей для выделения классов поверхностных вод, результаты оценки качества природных вод Волжско-Камского бассейна с использованием предлагаемого подхода расчета УКИЗВ использованы при корректировке «Территориальной программы государственного мониторинга поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (приложение 14).

4.2. Обоснование показателя для комплексной оценки питьевых вод

На территории РФ основными источниками питьевого водоснабжения являются поверхностные водоисточники. Вопросы управления качеством питьевых вод и определения показателей и критериев их качества являются чрезвычайно актуальными. Очевидно, что качество питьевых вод напрямую зависит от качества воды в природных источниках, а природные воды являются растворами сложного состава с широким перечнем и диапазонами содержания растворенных веществ. Ограничения действующей системы водоподготовки на водозаборах определяет влияние химического состава природных вод на формируемый состав приготавливаемых питьевых вод. Количество растворенных веществ в питьевой воде будет

зависеть, с одной стороны, от природно-антропогенных условий формирования химического состава используемых природных вод, а с другой – от методов и эффективности их очистки при приготовлении вод питьевого качества. Устаревшие и недостаточно эффективные системы очистки природных вод на водозаборах формируют тесную связь между химическими составами природных вод и приготавливаемыми из них питьевых вод. Таким образом, основными факторами, определяющими качество питьевых вод являются исходный состав воды в водном объекте, особенности технологии водоподготовки, изношенность водопроводов и разводящих сетей, что в свою очередь является источником вторичного загрязнения питьевой воды [189; 194; 217; 247].

Оценка качества питьевой воды играет важную роль в сфере управления водопользованием и в системе управления здравоохранением. Однако, оценка качества питьевых вод централизованных систем питьевого водоснабжения проводится с санитарно-гигиенических позиций, без учета антропогенной нагрузки на природные воды и природно-антропогенные особенности их химического состава. Более того, питьевые воды, приготавливаемые из природных вод, являются водным элементом урбоэкосистемы, что требует использования и экологических подходов к оценке их качества, т.е. естественная тесная взаимосвязь таких водных элементов урбоэкосистемы, как поверхностные и питьевые воды делает целесообразным использование подходов, применяемых для оценки поверхностных вод и к оценке качества питьевых вод. Объективность оценки качества любых объектов напрямую зависит от перечня учитываемых загрязняющих веществ.

В настоящее время качество питьевых вод оценивается только с санитарно-гигиенических позиций. Особенностью действующей системы санитарно-гигиенического нормирования питьевых вод является то, что нормативными документами предусмотрено регламентирование содержания отдельных загрязняющих веществ. Интегральная оценка качества питьевых вод проводится на предмет химической безвредности для потребления населением, путём оценки риска для здоровья. Но химический состав питьевых вод напрямую связан с уровнем загрязненности природных вод, из которых они получены, поэтому разработка подходов для комплексной оценки качества питьевых вод с экологических позиций является актуальнейшей задачей.

Оценка качества вод должна быть трехмерной: время-порог-пространство. Под порогом в данном случае подразумевается тот предел концентраций, который обеспечивает качество. То есть, «качество» – это целевое понятие, оно реализуется лишь при наличии обеспечивающего эталона, порога [113; 133]. Экологические и санитарно-гигиенические пороги могут значительно различаться. В настоящее время не разработаны методические указания для оценки качества питьевых вод в зависимости от уровня загрязненности вод поверхностного

источника водоснабжения. Попытка учесть степень загрязнения природных вод при оценке качества питьевых вод была сделана еще в 90-е годы прошлого столетия с принятием методических рекомендаций Минздравом РФ в 1997 г. под названием «Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения. В этом документе предложен единообразный подход к оценке качества поверхностных и питьевых вод.

Оценка качества воды по большому числу параметров с учетом разнообразных свойств воды реализуется с помощью комплексных показателей. Комплексные показатели позволяют устанавливать уровни загрязненности в пространственно-временном аспекте и принимать однозначные решения в различных водоохраных ситуациях. Комплексные показатели предназначены для численной оценки процессов, изменяющихся во времени, характеризующихся различными показателями состава и свойств воды в различных точках пробоотбора.

Рассматриваемые методические рекомендации предназначены для характеристики питьевой воды, состояния водных объектов хозяйственно-питьевого и рекреационного назначения с использованием показателя загрязненности воды (ПХЗ-10) и гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ). Хотя применение ПХЗ-10 ограничено – он рассчитывается только при выявлении зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [104]. Несмотря на то, что оценка качества воды производится для водных объектов хозяйственно-питьевого и рекреационного назначения, при расчетах ИЗВ и ПХЗ-10 берутся самые жесткие ПДК – рыбохозяйственные.

Применение ИЗВ как показателя для оценки качества природных поверхностных вод закончилось в 2002 году, введением [186], в котором предложен алгоритм расчета комбинаторного индекса загрязненности воды (КИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Поэтому методические рекомендации можно признать устаревшими. Поскольку расчет УКИЗВ, в отличие от ИЗВ, включает кроме определения кратности превышения ПДК еще и определение повторяемости случаев превышения нормативных значений, комплексные показатели КИЗВ и УКИЗВ как более точно отражающие состояние вод, на сегодняшний день становятся приоритетными. Более того, методология УКИЗВ позволяет реализовать оценку описанной выше трёхмерной модели качества, так как обеспечивает возможность комплексной оценки показателей с комбинированием порогов качества.

Мы предлагаем использовать методологию расчёта УКИЗВ, объединяющую в себе вероятностные и пороговые подходы к оценке химического состава питьевых вод, но не по обязательному перечню показателей, согласно [186], а по показателям, определяемым в программе социально-гигиенического мониторинга питьевых вод. Более того, методология

УКИЗВ позволяет реализовать оценку описанной выше трехмерной модели качества, так как обеспечивает возможность комплексной оценки показателей с комбинированием порогов качества.

Нами апробирована методология расчета УКИЗВ, объединяющая в себе вероятностные и пороговые подходы, к оценке качества питьевых вод, что позволило предложить способ расчета предлагаемого комплексного показателя для оценки гидрохимического состава питьевых вод, названного нами гидрохимический статус (ГХ-статус). Целесообразность введения показателя ГХ-статус обосновывается тем, что он обеспечивает приведение к единому знаменателю экологических и санитарно-гигиенических оценок качества вод.

Как отмечено в главе 2 был сформирован кортеж из 216 уникальных образцов питьевой воды из централизованной системы водоснабжения на территории г. Казани. Установлено, что большая часть показателей проб питьевой воды соответствует нормам, указанным в [195]. Были зафиксированы отклонения от действующих нормативов по отдельным показателям (хлороформ, сульфаты). В качестве порогов, которые использовались при расчете УКИЗВ вместо ПДК были использованы медианы показателей (таблица 4.6). По каждой точке отбора, были рассчитаны значения удельных комбинаторных индексов ($S_{уд}$) без коррекции по КПЗ и оценки классов качества.

Использование методологии расчета УКИЗВ позволяет учесть в ГХ-статусе как повторяемость случаев загрязненности, так и среднее значение кратности превышения порогов, а использование в качестве пороговых значений медиан масштабирует оценки с учетом региональных статистических распределений концентраций. Используемые при расчете УКИЗВ гидрохимические показатели и пороговые концентраций в питьевых водах представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Пороговые значения показателей, используемых для оценки качества питьевых вод

Показатель	Порог, мг/дм ³
1	2
Алюминий	0,27
Железо	0,065
Магний	14,9
Нитраты	4,51
Нитриты	0,0001
Сульфаты	61,3
Медь	0,006
Фториды	0,128

Продолжение таблицы 4.6

1	2
Хлориды	29,7
Жесткость общая	4,17, градусы
сухой остаток	379,1
Хлороформ	0,061

В связи с тем, что в алгоритме расчета кратность и повторяемость выражаются в баллах от 1 до 4, а обобщенный оценочный балл ($S_{уд}$) является их произведением, то итоговое значение можно нормализовать приведением к максимально возможному его значению ($4 \times 4 = 16$). В результате, были получены нормализованные значения $S_{уд}$ в диапазоне от 0,194 до 0,394 (рисунок 4.3).

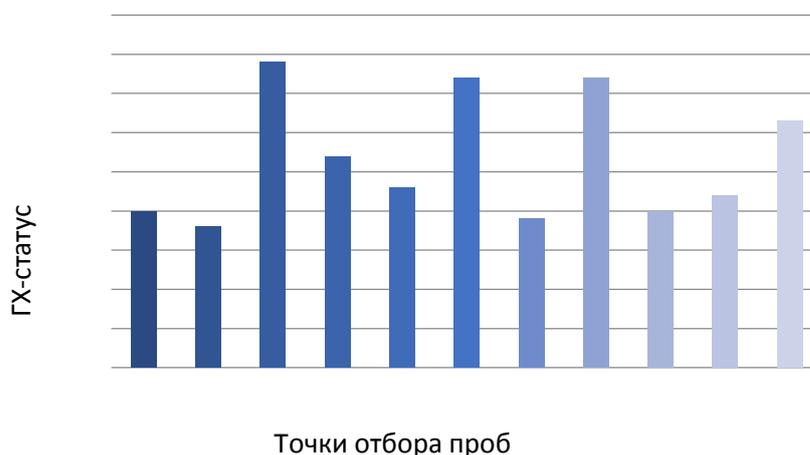


Рисунок 4.3 – Значения GX-статуса по 11 точкам отбора проб

Точно так же, как и при интерпретации результатов с использованием УКИЗВ, чем выше эти нормализованные значения, тем ниже качество питьевых вод. То есть, полученные нормализованные значения можно представить в виде особых весовых коэффициентов, отражающих гидрохимическое состояние питьевых вод, в связи с чем, мы используем их в качестве параметра, характеризующего предлагаемый показатель GX-статус. Такая характеристика оправдана не только при относительных оценках отдельных участков внутри общей территории, но и при сопоставлении различных проб воды, обеспеченных одним и тем же набором оцениваемых химических показателей.

Таким образом, в качестве меры GX-статуса мы использовали нормализованные значения УКИЗВ по каждой точке отбора проб воды, рассчитанные по отношению к медианам всего ряда наблюдений и приведенные к долям единицы. На наш взгляд, такой подход оправдан при относительных комплексных оценках.

Для определения градаций рассчитанных значений ГХ-статуса и соответствующих им качественных характеристик состава питьевых вод, его значения приводились к единой шкале характеристик экологического риска (R). В работе использована качественная характеристика уровня экологического риска, предложенная в известных, ставших классическими, работах [117, 118; 252]. Степень приемлемости экологического риска для водных объектов оценивалась сопоставлением значений его индекса качества со значениями диапазонов классов качества УКИЗВ. Анализ методики расчёта УКИЗВ позволяет определить интервал перехода от приемлемого уровня загрязнённости к уровню, который характеризуется как опасный, что позволяет определить неприемлемые риски загрязнённости воды на основе химических показателей.

Приведение к единой шкале характеристик качества осуществлялось с использованием индекса качества. Индекс качества – это мера качества исследуемого водного объекта, выраженная через индикаторы, и коррелирующая с мерой риска. Индекс качества определялся следующим образом [116]:

$$\chi_i = \frac{m_{ij}}{n_{ij}}, \quad \#(4.1)$$

где n_{ij} – число полных признаков, оценивающих качество (в нашем случае 12 показателей i по 216 наблюдениям, разбитым на 11 групп j), m_{ij} – число признаков, не превышающих ПДК.

Экологический риск определялся в виде вероятностной меры уровня экологической опасности и магнитуды ущерба, которая пропорциональна отклонению от качества, при этом диапазоны риска и индекса качества находятся в одном и том же интервале (0–1) и измеряются в сопоставимых линейных шкалах [118]:

$$R_j = 1 - \chi_j, \quad \#(4.2)$$

где χ_j – индекс качества воды.

Таким образом, в качестве пороговой меры качества питьевой воды, нами использовались нормализованные значения УКИЗВ по каждому месту отбора проб воды, рассчитанные по отношению к медианам всего ряда наблюдений и приведённые к долям единицы. Приведение к единой шкале различных характеристик качества осуществляли с использованием индекса качества экологического риска.

Рассчитав уровни экологического риска для тех же наборов наблюдений, по которым оценивался ГХ-статус, было получено регрессионное отношение этих двух показателей (рисунок 4.4).

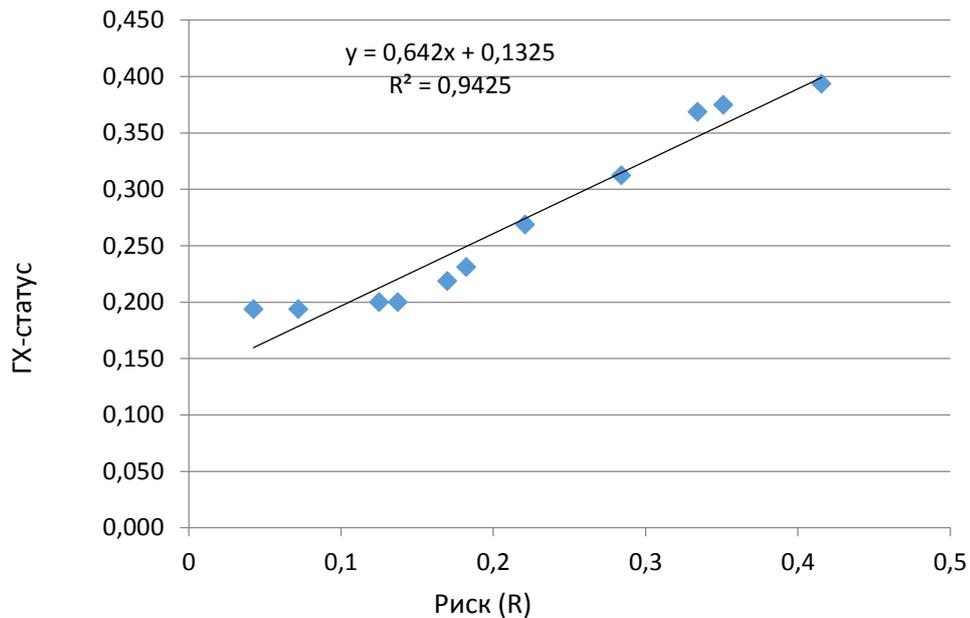


Рисунок 4.4 – Взаимосвязь показателей риска и ГХ-статуса, рассчитанных по одним и тем же наборам данных

В таблице 4.7 представлены полученные нами значения уровня экологического риска, ГХ-статуса и УКИЗВ, рассчитанного для тех же групп наблюдений, но по ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также соответствующие характеристики риска и классы качества УКИЗВ. Значения ГХ-статуса для показателей риска 0,6-0,8 рассчитаны по регрессионному уравнению, указанному на рисунке 4.4.

Таблица 4.7 – Значения показателей, их градации и характеристики качества вод

ГХ-статус	Риск (R)	УКИЗВ	Характеристика риска	Класс качества по УКИЗВ
0,194	0,042	0,48	Фоновая зона	Условно чистая
0,194	0,072	0,68		
0,200	0,125	0,62	Вполне удовлетворительный	
0,200	0,137	0,63		
0,219	0,169	0,77		
0,231	0,182	0,71	Удовлетворительный	
0,269	0,220	0,80		
0,313	0,284	0,94	Приемлемый	Слабо загрязнённая
0,369	0,334	1,48		
0,375	0,351	1,67	Допустимый	
0,394	0,415	1,64		
<i>0,517*</i>	0,600		Зона риска	
<i>0,581</i>	0,700		Опасный риск	
<i>0,646</i>	0,800		Критический риск	

Примечание: *курсивом выделены значения ГХ-статуса, рассчитанные по регрессионной модели.

Согласно описанию качественных характеристик уровня экологического риска, представленному в работе [117], допустимые его значения находятся в интервале 0-0,5, что соответствует значениям ГХ-статуса, равным 0,45. При этом следует отметить, что эта граница практически совпадает с началом класса «Загрязнённая» по шкале классов качества УКИЗВ. В целом, градации классов качества УКИЗВ являются сильно растянутыми по диапазону качественных характеристик риска, однако хорошо отражают границы зон приемлемости и неприемлемости риска, что позволяет сопоставлять и совместно оценивать все представленные показатели.

Таким образом, естественная тесная взаимосвязь водных элементов урбоэкосистемы «природные воды – питьевые воды» должна быть отражена в единых подходах к оценке качества вод, что должно способствовать единству системы водопользования. ГХ-статус имеет такой же физический смысл, что и УКИЗВ, по сути, это приведённые к долям 1 значения удельного комбинаторного индекса ($S_{уд}$), однако рассчитанные по статистическим порогам, в качестве которых используются медианы вариационных рядов оцениваемых показателей. Предложенный комплексный показатель для оценки химического состава питьевых вод имеет перспективы использования для нормирования качества вод поверхностного источника водоснабжения. Использование методологии расчёта УКИЗВ позволяет учесть в предлагаемом показателе ГХ-статус как повторяемость случаев загрязнённости, так и среднее значение кратности превышения порогов, а использование в качестве пороговых значений медиан масштабирует оценки с учётом региональных распределений значений концентраций. Уровни экологического риска и значения предложенного показателя сопоставляются для масштабирования показателей относительно друг друга, с целью построения шкалы предлагаемого показателя, сопоставимой со шкалой экологического риска. Соответственно, ГХ-статус, рассчитываемый по методологии УКИЗВ, но с использованием санитарно-гигиенических нормативов, и приведенный к шкале экологического риска, позволяет оценивать качество питьевых вод с учетом региональных особенностей их химического состава.

Таким образом, целесообразность введения показателя ГХ-статус обосновывается тем, что он обеспечивает приведение к единому знаменателю экологических и санитарно-гигиенических подходов при комплексной оценке качества питьевых вод, как водного элемента урбоэкосистемы. Предлагаемые подходы к разработке комплексного показателя, учитывающего как повторяемость случаев загрязнённости, так и значения кратностей превышения порогов, определяемых статистически, могут быть применены для формирования комплексных показателей и других элементов урбоэкосистемы (почвы, воздуха), с целью получения интегральной оценки загрязнённости урбоэкосистемы в целом.

Глава 5. Методика расчета нормативов допустимого сброса сточных вод предприятия с учетом региональных особенностей водных объектов

Как рассматривалось нами ранее, сточные воды, образованные в ходе производственных процессов и, подлежащие сбросу в поверхностные водные объекты после очистки, являются одним из основных источников загрязнения поверхностных вод. До сих пор научной проблемой остается обоснование региональных пороговых концентраций, которые станут основой для расчёта НДС. В настоящее время проектировщики сталкиваются с проблемами при расчете НДС для тех веществ, фоновые концентрации которых выше ПДК. Мы предлагаем методику обоснования НДС с применением РПК [230].

За основу расчёта НДС взята ныне действующая методика [171]. При расчёте допустимой концентрации i -го вещества в сточных водах $C_{НДСi}$ мы предлагаем использовать вместо ПДК_{p/x} верхний порог значений ряда гидрохимических показателей (верхний квартиль), обозначив его как региональную пороговую концентрацию (РПК).

При этом предлагаем исходные РПК (далее обозначенные как базовые РПК) скорректировать с применением расчета УКИЗВ, исходя из предположения, что если в результате сброса загрязняющих веществ не ухудшается класс качества воды в контрольном створе, то, исходя из таких концентраций, и необходимо обосновывать НДС. Расчет УКИЗВ предлагается делать с применением общепринятой методики, однако вместо ПДК_{p/x} использовать обоснованные с РПК (базовые), которые позволяют учесть региональные особенности геохимического фона по содержанию веществ двойного генезиса, например, сульфатов, хлоридов, фосфатов и т. д. Базовые РПК могут быть выше ПДК_{p/x} в силу специфики регионального фона этих веществ. Физически базовые РПК представляют собой расчётную величину, полученную путём статистической обработки многолетних массивов локализованных данных гидрохимического анализа, основанную на анализе квартильных размахов и медиан.

Расчет УКИЗВ и класса качества воды произведен по обязательному перечню [186] с добавлением к нему показателей, присутствующих в сбросе производственных сточных вод, если они отсутствуют в обязательном перечне. Далее используя пошаговую итерацию, увеличивали базовые значения РПК каждого компонента сбросов на значение: «начальная концентрация показателя*0,1» (на 10 %). На каждом шаге оценивали значение УКИЗВ. Если новый класс качества сохранялся в пределах начального, то шаг повторялся. Цикл осуществляется до тех пор, пока получаемый в результате расчёта УКИЗВ класс качества воды сохраняется в пределах исходного. Цикл прекращается при переходе индекса на другой класс качества. Величина 10 % получена опытным путём, шаг в 10 % от стартовой концентрации

оказался наиболее оптимальным. Необходимо изменять концентрации только тех веществ, которые содержатся в составе сточных вод.

Таким образом, этапы предлагаемой методики, следующие:

- 1) нахождение базовых значений РПК в соответствии с предложенным подходом;
- 2) определение медианного значения концентраций по многолетним данным гидрохимических наблюдений;
- 3) проведение расчёта значения УКИЗВ и определение класса качества воды по обязательному перечню веществ с добавлением к нему показателей, присутствующих в нормируемом сбросе сточных вод, если они отсутствуют в обязательном перечне;
- 4) циклическая итерация значений РПК на 10 % с пошаговым вычислением величин УКИЗВ;
- 5) фиксация полученных концентраций веществ в виде предельных значений РПК_i и использование их вместо ПДК_{р/х};
- 6) расчёт допустимых значений концентраций С_{ндс} на основе РПК_i, полученных на предыдущем этапе;
- 7) расчёт значения НДС_i с использованием полученной допустимой концентрации для каждого вещества в составе сточных вод [226].

Предложено проводить расчёт допустимых концентраций веществ в сточных водах по формуле:

$$C_{ндс_i} = N \cdot (РПК_i - C_{ср_i}) + C_{ср_i}, \#(5.1)$$

где РПК_i – базовые значения региональных пороговых концентраций i-го вещества (верхний квартиль); С_{ср_i} – медианное (фоновое) значение ряда результатов наблюдений; N – кратность общего разбавления сточных вод в водном объекте, равная произведению кратности начального разбавления (n_n) на кратность основного разбавления (n_o) [219].

При расчёте С_{ндс_i} по предлагаемому подходу использовалось медианное значение ряда результатов наблюдений, поскольку распределение концентраций большей части гидрохимических показателей не соответствовало нормальному.

Предлагаемая методика была апробирована на сточных водах ОАО «Казанский завод синтетического каучука». Исследования состава сточных вод первой группы выполнены аккредитованной лабораторией. Все гидрохимические показатели определялись с применением утвержденных действующих методик измерений. Водоотведение стоков первой группы осуществляется в р. Волгу. Максимально близко к месту водоотведения расположен пункт контроля качества природных вод р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань. При дальнейших расчетах

фонового УКИЗВ и НДС применяли данные о гидрохимическом составе поверхностных вод, полученные на этом пункте.

Рассчитанное значение УКИЗВ сопоставлялось со шкалой классов качества, представленной в РД 52.24.643-2002. Используя многолетний массив данных, получен УКИЗВ, соответствующий фоновым значениям гидрохимических показателей, который составил 2,9, что соответствует классу качества «Загрязнённая 3а». Используя этапы методики, приведённые выше, получены предельные значения РПК, скорректированные с учётом УКИЗВ, которые позволяют сохранить класс качества воды при сбросе. В нашем случае, нам необходимо достигнуть, но не превысить, значения $S_{уд.} = 4,0$, так как это значение является границей между 3 и 4 классами качества воды. Результаты итераций представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты расчета УКИЗВ с использованием итераций

Параметры УКИЗВ	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{обобщ.}$
Аммоний ион, мг/дм ³	85,7	1,8	4,0	1,8	7,2
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	66,7	2,4	4,0	2,0	8,0
Железо, мг/дм ³	33,3	1,8	3,2	1,8	5,7
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Марганец, мг/дм ³	76,2	3,3	4,0	2,2	8,8
Медь, мг/дм ³	57,1	1,8	4,0	1,8	7,2
Нефтепродукты, мг/дм ³	4,8	1,5	1,4	1,5	2,1
Никель, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Нитраты, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Нитриты, мг/дм ³	81,0	2,0	4,0	2,0	8,0
Сульфаты, мг/дм ³	66,7	1,3	4,0	1,3	5,2
Фенол, мг/дм ³	57,1	3,3	4,0	2,2	8,8
ХПК, мг/дм ³	23,8	1,2	2,7	1,2	3,2
Хлориды, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Цинк, мг/дм ³	14,3	2,5	2,2	2,1	4,6
Фосфаты, мг/дм ³	100,0	2,7	4,0	2,1	8,4
АПАВ, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Формальдегид, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сульфиды, мг/дм ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S_j					76,9
S уд.					4,0

Стоит отметить, что по целому ряду сбрасываемых веществ (АПАВ, формальдегид, сульфиды, хлориды, нитраты) за весь период наблюдений превышений ПДК_{р/х} не было достигнуто, поэтому значения $S_{обобщ.}$ этих веществ равно 0. В этом случае в качестве пороговых

предлагаем использовать ПДК_{р/х} этих веществ. Далее необходимо рассчитать пороговые значения, используя средневзвешенные концентрации, полученные после всех итераций на предыдущем этапе.

УКИЗВ рассчитывались по [186] в соответствии с обязательным перечнем показателей. Класс качества воды определен по шкале, представленной в приложении В [186]. Обоснованные после применения итераций значения РПК (далее определены нами как предельные РПК) в сравнении с ПДК_{р/х} и медианными (фоновыми) концентрациями приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Значения предельных региональных пороговых концентраций в сравнении с ПДК_{р/х} и медианными (фоновыми) концентрациями

Вещества в составе сточных вод, подлежащие нормированию	ПДК _{р/х} , мг/дм ³	РПК, мг/дм ³	С _{СРi} , мг/дм ³
NH ₄ ⁺	0,5	0,55	0,39
БПК ₅	2,0	2,5	1,6
Нефтепродукты	0,050	0,006	0,003
NO ₃ ⁻	40,0	40,0	1,6
NO ₂ ⁻	0,080	0,11	0,05
SO ₄ ²⁻	100,0	115,0	55,0
Cl ⁻	300,0	300,0	11,0
PO ₄ ³⁻ (в пересчете на фосфор)	0,20	0,34	0,26
АПАВ	0,5	0,5	0,005
CH ₂ O	0,1	0,1	0,001
S ²⁻	0,005	0,005	0,0001

Из данных таблицы видим, что обоснованные нами предельные РПК, имеют более жесткое значение по сравнению с ПДК_{р/х} по нефтепродуктам (рисунок 5.1).

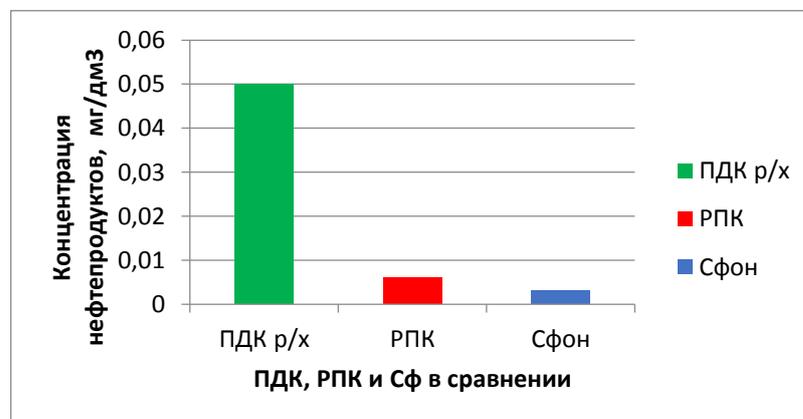


Рисунок 5.1 – Величины ПДК_{р/х}, РПК, и фоновые концентрации для нефтепродуктов

По веществам биогенного происхождения (нитритам, ионам фосфора, ионам аммония и БПК₅) обоснованные РПК незначительно выше ПДК_{р/х}. По фосфат-ионам и медианное (фоновое) содержание, и РПК выше ПДК_{р/х}. В этом случае в соответствии с п. 15 [165] при расчёте НДС должны быть применены значения нормативов, установленных на уровне значений показателей природных фоновых концентраций химических веществ в этом речном бассейне или его части, т.е. при расчете НДС по действующим требованиям, проектные организации должны ориентироваться не на ПДК, а на фоновые концентрации.

Более лояльные требования к величине НДС для фосфатов и, в целом, веществ биогенного происхождения в условиях прогрессирующей эвтрофикации вод Куйбышевского водохранилища могут вызвать противоречивые мнения специалистов. Однако проблема в том, что ужесточение требований к сбросу веществ биогенного происхождения от организованных источников, не дает улучшения качества природных вод [241]. Авторы подчеркивают, что фоновые концентрации биогенных веществ формируются не только вследствие организованного сброса (в р. Волга наибольший по массе привнос фосфатов составил 229, 156 т в 2022 году от МУП Казанский Водоканал), но и неорганизованного поверхностного стока с территории водосборного бассейна. Соотношение расходов организованного и неорганизованного сбросов составляет, как правило, 1 к 5 [241]. Изучение биогенной нагрузки на исследуемые водные объекты, в частности, по фосфат-ионам (в пересчете на фосфор), показало, что помимо организованного привноса с промышленными и коммунально-бытовыми стоками, фосфор поступает с поверхностным (неорганизованным) стоком, который формируется под влиянием многочисленных факторов (климат, рельеф, тип почв, характер возделывания, тип выращиваемых культур, околосоводная растительность и лесистость территории водосборного бассейна, особенности использования фосфорных удобрений и средств защиты растений, наличие сточных вод с ферм, сельскохозяйственная нагрузка на пастбища в пределах водосборного бассейна, процент территорий с асфальтовым покрытием в пределах водосборного бассейна) [16; 58; 112; 221]. Особенно подвержены диффузному загрязнению биогенами малые реки, в бассейнах которых расположены сельскохозяйственные объекты. Массовая застройка береговых зон также весомый вклад в диффузное загрязнение. Содержание всех форм фосфора и азота в поверхностном стоке населенных пунктов превышает ПДК_{р/х} в 5-20 раз [83]. Литературные данные позволяют сделать вывод о том, что привнос биогенов, в частности, фосфора с диффузным стоком может колебаться от 40 до 90 % [258]. Привнос биогенов с диффузным стоком в р. Казанку составляет порядка 90 % [93]. Выявлена зависимость содержания фосфора в диффузном стоке от климатических параметров и количества вносимых удобрений в пределах водосборного бассейна реки. Авторы отмечают необходимость более адекватного нормирования антропогенных воздействий от

организованных источников, с учетом того, что зачастую высокое фоновое содержание веществ в контрольных створах связано с преобладающим влиянием диффузных источников, преимущественно сельскохозяйственного происхождения [93]. Поступление биогенных элементов со сбросами предприятий составляет, по разным оценкам, всего лишь порядка 5-10 % от общего пула массопереноса данных компонентов. По нашему мнению, при решении вопросов именно биогенной нагрузки ориентироваться нужно в первую очередь на решение вопросов диффузного выноса, а не точечных источников. Предлагаемый нами метод позволяет предъявлять более адекватные требования к водопользователям и обоснованно определять водоохранные мероприятия для обеспечения химической безопасности поверхностных вод. От ужесточения мер, предъявляемым к организованным источникам, необходимо перейти к научно обоснованным нормативам допустимой антропогенной нагрузки на водный объект и обеспечивать их за счет агротехнических и иных мер, обеспечивающих снижение содержания биогенов в диффузном стоке.

По АПАВ, формальдегиду предельные РПК приняты на уровне ПДК_{р/х}. За весь период наблюдения не было зарегистрировано ни одного случая превышения ПДК_{р/х}. По нитратам, хлоридам и сульфидам, которые представляют собой вещества двойного генезиса, так же не было зафиксировано превышение ПДК_{р/х}. Их предельные РПК для расчета НДС так же приняты на уровне ПДК_{р/х}.

В таблице 5.3 представлены результаты расчета НДС по предлагаемой методике в сравнении с действующими показателями и величиной фактического сброса нормируемых веществ, содержащихся в сточных водах предприятия.

Таблица 5.3 – Величина НДС, обоснованная по предлагаемой методике (НДС_{эксп.}), в сравнении с проектным значением НДС (НДС_{дейст.}) и величиной фактического сброса (M_{факт})

Показатели	M _{факт} , кг/ч	НДС _{дейст.} , кг/ч	НДС _{эксп.} , кг/ч
NH ₄ ⁺	0,66	0,79	0,89
NO ₃ ⁻	2,79	64,23	63,06
NO ₂ ⁻	0,12	0,14	0,16
PO ₄ ³⁻	0,37	0,41	0,54
БПК ₅	2,89	3,2	3,9
Нефтепродукты	0,085	0,079	0,009
SO ₄ ²⁻	80,362	159,3	182,36
Cl ⁻	15,59	440,2	472,9
АПАВ	0,66	0,81	0,77
CH ₂ O	0,148	0,17	0,15
S ²⁻	0,008	0,007	0,008

Полученные с использованием предлагаемой методики результаты расчета НДС предъявляют более жёсткие требования к величине НДС для веществ, преимущественно антропогенного поступления, причем наиболее жесткие требования по сбросу среди веществ антропогенного или преимущественно антропогенного действия выявлены в отношении нефтепродуктов (рисунок 5.2) [225].

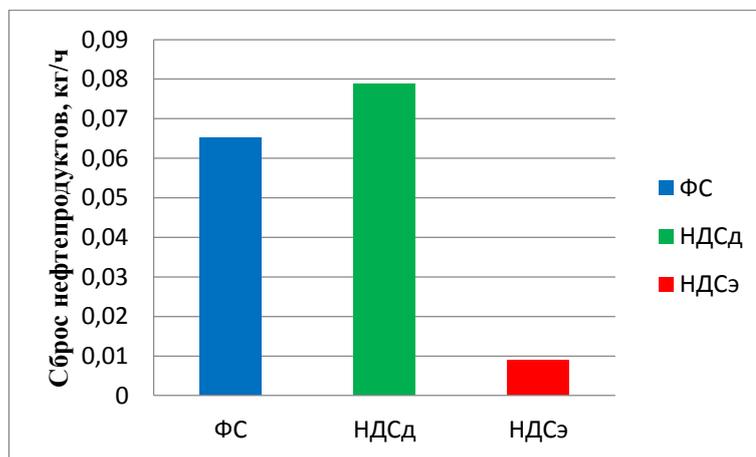


Рисунок 5.2 – Значения фактического сброса нефтепродуктов (ФС), НДС по действующей методике и НДС по экспериментальной методике

Для сульфатов, сульфидов и хлоридов (гидрохимические показатели двойного генезиса) величина НДС, обоснованная по предлагаемой методике, выше величины НДС, обоснованной по действующей методике, что объясняется природными особенностями водного объекта. Для веществ – биогенов двойного генезиса (фосфат-ионы, ионы аммония, нитриты) величина НДС, определённая по предлагаемой методике, незначительно выше величины НДС, обоснованной с применением действующей методики, что также объясняется природно-антропогенными особенностями водного объекта. Однако, в условиях усиленной эвтрофикации водного объекта – приемника сточных вод, который является источником питьевого водоснабжения, целесообразно устанавливать более жесткие нормативы НДС (т.е. применять ПДК_{p/x}), при этом, необходимо разрабатывать более обоснованные программы по снижению содержания биогенов в водных объектах, с учетом многообразия источников привноса биогенов в р. Волга, как было сказано ранее.

В наших исследованиях отличия величин НДС, обоснованных с применением действующей методики, и НДС, обоснованных с применением экспериментальной методики, по веществам, в отношении которых предельные РПК и ПДК_{p/x} совпали, связаны с применением обоснованных нами фоновых концентраций, что так же позволяет учесть природно-антропогенные особенности объектов. Так, НДС хлоридов, сульфидов, менее

жесткие по сравнению с $\text{НДС}_{\text{дейст.}}$ $\text{НДС}_{\text{эксп.}}$ для АПАВ, формальдегида более жесткие за счет обоснованного нами фона.

В целом, применение предлагаемой методики обоснования НДС позволит снизить антропогенное воздействие на водный объект за счет применения более жестких нормативов допустимого сброса в отношении нефтепродуктов, АПАВ, формальдегида, предъявлять более обоснованные с точки зрения природно-антропогенных особенностей водного объекта требования к водопользователям, и обосновывать более эффективные водоохранные решения, особенно в части веществ двойного генезиса.

Результаты расчета фоновых концентраций веществ двойного генезиса использованы в работе ОАО «Казанский завод синтетического каучука» в целях повышения эффективности контроля за негативным воздействием на окружающую среду (приложение 15). Материалы всех глав диссертации внедрены в образовательный процесс КНИТУ-КАИ в рамках преподавания дисциплин «Прикладная экология» и «Экологический мониторинг и производственный экологический контроль» (приложение 16).

Заключение

1. Разработан способ классификации поверхностных вод (на примере рек Волжско-Камского бассейна в пределах Республики Татарстан) по гидрохимическим показателям методом нейросетевой кластеризации данных с нечеткими элементами на основе экспертного оценивания, отражающий природно-антропогенные особенности формирования химического состава поверхностных вод. Методами нейросетевого и факторного анализа установлены классифицирующие показатели, играющие ведущую роль (минерализация, общая жесткость, ионы кальция, магния, сульфаты, гидрокарбонаты) и вспомогательную роль (хлориды, нитраты, ионы марганца и ХПК) при классификации водных объектов. Установлены диапазоны значений региональных пороговых концентраций, положенные в основу выделения шести классов вод.

2. Модернизирован способ расчета УКИЗВ с использованием значений региональных пороговых концентраций для веществ двойного генезиса, позволяющий устранить завышение или занижение его значений, сохраняя общую характеристику классов качества поверхностных вод.

3. Впервые предложен комплексный показатель гидрохимический статус питьевых вод, разработанный для обобщения экологических и санитарно-гигиенических подходов к оценке гидрохимического состава питьевых вод,готавливаемых из вод поверхностного источника водоснабжения. Показатель взаимосвязан с градациями приемлемости риска и классами качества вод, с определением интервала перехода от приемлемого уровня загрязненности к опасному, что позволяет совместно оценивать все указанные показатели.

4. Разработана методика расчета региональных нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ в водные объекты, с условием сохранения класса качества вод поверхностного водоисточника, определенного до их сброса. Апробация методики расчета нормативов НДС для предприятия химической отрасли промышленности ОАО «Казанский завод синтетического каучука», определила более мягкие требования к сбросу некоторых веществ двойного генезиса (сульфаты, хлориды, сульфиды) с учетом природных особенностей водного объекта и более жесткие требования к величине НДС для веществ преимущественно антропогенного поступления (нефтепродукты, АПАВ, формальдегид).

Перспективы разработки темы диссертационного исследования обширны. Это обусловлено необходимостью цифровизации отрасли водопользования, для оперативной оценки состояния водных объектов с учетом их региональных особенностей, определения допустимой степени антропогенного воздействия. Предложенный алгоритм классификации может быть применен к другим поверхностным водным объектам в пределах одного речного бассейна. Введение региональных нормативов качества вод водных объектов требует пересмотра критериев введения режима чрезвычайных ситуаций экологического характера с

учетом их природной специфики. Необходимо дальнейшее развитие системы нормирования антропогенного воздействия с учетом динамики содержания загрязняющих веществ и наличия неорганизованных источников воздействия на водные объекты. В перспективе возможно использование полученных результатов исследования для разработки цифровых карт территории, отражающих пространственную неоднородность гидрохимического состава поверхностных вод. Данные диссертационного исследования могут быть использованы для развития подходов в области хемометрии.

Список сокращений и условных обозначений

- АПАВ – анионные поверхностно-активные вещества
- БПК₅ – биологическое потребление кислорода за 5 суток
- ГХ-статус – гидрохимический статус
- ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство
- ИЗВ – индекс загрязнения воды
- ИНС – искусственная нейронная сеть
- КИЗ – комбинаторный индекс загрязнения
- КИЗВ – комплексный индекс загрязнения воды
- КМПО – Казанское моторостроительное производственное объединение
- КОМЗ – Казанский оптико-механический завод
- КПЗ – критический показатель загрязненности
- КЗСК – Казанский завод синтетического каучука
- M_{факт} – фактическая масса, сбрасываемых со сточными водами загрязняющих веществ
- МЭПР РТ – Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан
- Не норм. – не нормируемый показатель
- НДВ – нормативы допустимого воздействия
- НДС – норматив допустимого сброса
- НДС_{дейст.} – НДС, рассчитанный по действующей методике
- НДС_{эксп.} – НДС, рассчитанный по экспериментальной методике
- НДТ – наилучшие доступные технологии
- НПУ – нормальный подпорный уровень
- ПАВ – поверхностные активные вещества
- ПДК – предельно допустимая концентрация
- ПДК_в – ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения
- ПДК_{р/х} – ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения
- ПХЗ-10 – показатель химического загрязнения по 10 веществам, максимально превышающих ПДК
- РД – руководящий документ
- РПК – региональная пороговая концентрация
- УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды
- ТЭЦ – теплоэнергоцентр
- ФС – фактический сброс
- ХПК – химическое потребление кислорода
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина

WTA – тип нейрона

$S_{уд}$ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды

S_{ij} – частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязнения i -ым ингредиентом в j -ом створе

S_j – комбинаторный индекс загрязненности воды в j -ом створе

S_{aij} – частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности i -м ингредиентом в j -м створе за рассматриваемый период времени

S_{bij} – частный оценочный балл по кратности превышения ПДК i -го ингредиента в j -м створе за рассматриваемый период времени

$S_{обобщ}$ – обобщенный индекс загрязненности воды

SOM-карты – самоорганизующаяся карта Кохонена

SWC-критерий – критерий для оценки нейронных сетей

S_0 – начальное состояние автомата

$C_{ср}$ – средняя концентрация гидрохимического показателя в поверхностных водах, $мг/м^3$

$C_{макс}$ – максимальная концентрация гидрохимического показателя в поверхностных водах, $мг/м^3$

$C_{мин}$ – минимальная концентрация гидрохимического показателя в поверхностных водах, $мг/м^3$

CA – кластерный анализ

$C_{ндс_i}$ – допустимая концентрация i -того вещества в отводимых водах

$C_{ср_1}$ – медианное (фоновое) значение ряда результатов наблюдений

$C_{ф}$ – фоновая концентрация

CNN – сверточные нейронные сети

FM-критерий – критерий, используемый для оценки нейронных сетей

$K_{ср}$ – коэффициент запаса

LDA – линейный дискриминантный анализ

LSTM – рекурсивные нейронные сети

TMDL – показатель предельного количества загрязняющего вещества в воде, которое способно ежедневно ассимилироваться, обеспечивая сохранение и поддержание качества воды, необходимое для конкретной категории водопользования

MLP – многослойный персептрон

P_k – вероятностное отношение, учитывающее долю показателей образца, соответствующих заданным диапазонам

PCA – анализ главных компонент

p – статистическая значимость (вероятность ошибки)

q – максимальный часовой расход сточных вод, $м^3/ч$

R – риск

w_j – вес нейрона

χ_j – индекс качества

$\Delta w_{i^*}^T$ – приращение вектора весов нейрона

x – вектор, описывающий пробу воды

α_{ij} – повторяемость случаев превышения ПДК по i -тому гидрохимическому показателю

β_{ij} – кратность превышения ПДК по i -тому гидрохимическому показателю для j -того створа

2 ТП водхоз – форма статистической отчетности водопользователей

pH – водородный показатель, используемый для определения кислотности

Список литературы

1. Абакумов, В.А. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования / В.А. Абакумов, Л.М. Сущеня // Экологические модификации и критерии экологического нормирования, Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
2. Авессаломова, И.А. Медико-геохимическая оценка природных вод антропогенных ландшафтов (на примере Коломенского района) / И.А. Авессаломова // Геохимия ландшафтов и борьба с загрязнением природной среды. – 1977. – С. 9-12.
3. Алекин, О.А. К вопросу о химической классификации природных вод /О.А. Алекин // Вопросы гидрохимии. Тр. НИУ ГУГМС. – 1948. Сер. 4. Вып. 32. –С. 25-39.
4. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 414 с.
5. Александрова, А.Б. Противоэрозионная устойчивость почв бассейна р.Казанка / А.Б. Александрова, В.В. Маланин, Д.Е. Шамаев, Р.Р. Хасанов // Сборник трудов IX Международного Конгресса «Чистая вода. Казань». Казань, 2018 – С.76-78.
6. Алимов, А.В. Применение биологических и экологических показателей для определения степени загрязнения природных вод / А.В. Алимов, В.В. Бульон, В.Л. Гутельмахер // Водные ресурсы. – 1979. – № 5. – С. 1-53.
7. Багаев, Ю.Г. Нормирование сбросов сточных вод / Ю.Г. Багаев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 3. – С. 14-16.
8. Баготский, С.В. Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоемах / С.В. Баготский, М.В. Санин, Л.О. Эйнон // Водные ресурсы. – 1992. – № 6. – С. 101-106.
9. Байбакова, Е.В. Применение нейронных сетей для обоснования экологических нормативов / Е.В. Байбакова // Сборник трудов 63 Всероссийской научной конференции МФТИ «Прикладная математика и информатика». – Москва, 2020. – С.173-175.
10. Байбакова, Е.В. Сравнительный анализ подходов к регулированию антропогенной нагрузки на водные экосистемы / Е.В. Байбакова, Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев // Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XX». – Казань, 2020. – С. 334-338.
11. Байбакова, Е.В. Подходы для разработки региональных нормативов для природных вод на основе современных математических методов многофакторного анализа / Е.В. Байбакова, Ю.А.Тунакова, В.С. Валиев // Сборник трудов всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире». – Казань, 2021. – С.1137-1142.

12. Байбакова, Е.В. Сравнительный анализ комбинаторного индекса загрязнения воды, вычисленных по ПДК и фоновым показателям / Е.В. Байбакова, Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев // Сборник трудов III международной научно-технической интернет-конференции «Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика». – Уфа, 2021. – С.22-26.
13. Байбакова, Е.В. Факторы, влияющие на качество поверхностных вод в водных объектах, являющихся приемником сточных вод / Е.В. Байбакова // Материалы 12-ой Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Казанские научные чтения студентов и аспирантов». – Казань, 2023 – С.156-157.
14. Балущкина, У.В. Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ средней и нижней Волги / У.В. Балущкина // Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии «Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов». – Москва, 2011. – С. 69-101.
15. Банникова, О.А. К вопросу об установлении региональных нормативах качества воды / О.А. Банникова, Е.Н. Бычкова // Водное хозяйство России. – 2011. – № 6. – С. 54-68.
16. Баранов, Е.Е. Пути поступления фосфора в водохранилища Волжского бассейна / Е.Е.Баранов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2014. –Т.23, №2. – С.4-13.
17. Баскин, И.И. Многослойные перцептроны в исследовании зависимостей «структура- свойство» для органических соединений / И.И. Баскин, В.А.Палюлин, Н.С Зефирова // Российский химический журнал. – 2006. – №2. – С. 86-96.
18. Белоногов, В.А.Подходы к нормированию качества воды на основе многолетних наблюдений / В.А.Белоногов, Торсуев Н.П. // Современная география и окружающая среда. – Казань, 1996. – С. 76-78.
19. Беляев, С. Д. К вопросу о нормировании водопользования / С.Д. Беляев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2004. – Т. 6, № 5. – С. 445–459.
20. Беляев, С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности / С.Д. Беляев // Водное хозяйство России. – 2007. –№3. – С.3-17.
21. Беляев, С.Д. Алгоритм приоритетных в масштабе бассейна реки водоохраных мероприятий / С.Д. Беляев // Материалы VII гидрологического съезда. – Санкт-Петербург, 2013. – С.1-2.

22. Беляев, С.Д. К вопросу о нормировании водопользования / С.Д. Беляев // Водное хозяйство России. – 2004. – Т. 6. – С. 445-459.
23. Беляев, С.Д. О месте целевых показателей качества воды в СКИОВО / С.Д. Беляев // Водное хозяйство России. – 2009. – № 3. – С. 61-78.
24. Беляев, С.Д. Региональные стандарты и целевые показатели состояния водных объектов / С.Д. Беляев, А.М. Черняев // Тез. докл. Третьего международного конгресса «Вода: экология и технология». – Москва, 1998. – С. 576-577.
25. Беляева, Т.А. Интегральная оценка качества водной среды / Т.А. Беляева, В.С. Буяров, Т.В. Малинина // Труды ЛПИ «Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды». –1985. – Вып.8. – С.19-23.
26. Беспалова, К.В. Определение нормативов допустимого сброса веществ двойного генезиса в водные объекты Нижней Волги с учетом их природных особенностей / К.В. Беспалова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. –2014. – № 8 (80). – С. 68 -74.
27. Беспалова, К.В. Регулирование воздействия источников химического загрязнения на водные объекты с учетом их природных особенностей: автореф. дисс. канд. хим. наук: 03.02.08. / Беспалова Ксения Владимировна. Тольятти, 2017. –16 с.
28. Боготский, С.В. Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоемах / С.В. Боготский, М.В. Санин, Л.О. Эйнон // Водные ресурсы. –1992. – № 6. – С. 101-106.
29. Вайсман, Я.И. Интегральная оценка качества воды водных объектов при анализе реальной антропогенной нагрузке сточных вод и заболеваемости населения / Я.И. Вайсман, Н.В. Зайцева, А.В. Анцкайтис // Тез. докл. конференции «Охрана окружающей среды в связи с использованием промышленных отходов в народном хозяйстве». –Пермь, 1984. – С.27-30.
30. Веницианов, Е.В. Эколого-экономические и организационно-правовые проблемы перехода к системе регулирования качества вод на основе наилучших доступных технологий / Е.В. Веницианов, Г.А. Звезденкова // Водное хозяйство России. – 2014. – № 3. – С. 120-130.
31. Вернадский, В.И. История природных вод/ В.И. Вернадский. – Госхимтехиздат: Ленинградское отделение, 1933. –205 с.
32. Водный кодекс Российской Федерации № 74-ФЗ. Федеральный закон: принят Гос. Думой 3.06.2006. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2024).
33. Волков, И.В. О принципах регламентирования антропогенной нагрузки на водные экосистемы / И.В. Волков, И.Н.Заличева, В.С. Ганина и др. // Водные ресурсы. – 1993. – Т. 20, № 6. – С. 707-713.

34. Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов / Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии. – Москва, 2011. – 196 с.
35. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е.Л.Воробейчик, О.Ф.Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Изд-во «Наука», 1994. –280 с.
36. Воропаев, Г.В. Некоторые вопросы управления использованием водных ресурсов / Г.В. Воропаев // Водные ресурсы. – 1992. – № 2. – С. 5-11.
37. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. –М., Госкомгидромет, 1986 – 10 с.
38. Вуглинский, В.С. Водные ресурсы России (состояние, проблемы использования и пути их решения) / В.С. Вуглинский // Тр. ГГИ. - 1992. –Вып. 360. – С. 3-10.
39. Габдрахманова, Г. Н. Комплексная региональная оценка качества вод в урбоэкосистеме: автореф. диссертации на соискание канд. хим. наук 03.02.08./ Габдрахманова Гульнара Наилевна. Казань, 2020. – 18 с.
40. Гагарина, О.В. Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод / О. Гагарина // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология, науки о Земле. – 2005. – №11. – С. 45-58.
41. Гагарина, О.В. Анализ временной динамики и пространственной изменчивости качества поверхностных вод Удмуртии: автоф. диссерт. на соискание ученой степени канд. геогр. наук: 25.00.36 / Гагарина Ольга Владимировна. Ижевск, 2007– 23 с.
42. Гагарина, О.В. Проблемы нормативного обеспечения разработки и установления нормативов допустимого воздействия на водные объекты /О.В.Гагарина // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. – 2010. –№1. – С. 20 –26.
43. Гагарина, О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учебно-методическое пособие / О.В. Гагарина: Учебно-методическое пособие/составитель О.В. Гагарина. – Ижевск: Изд-во «Удмурдский университет», 2012. – 199 с.
44. Гелашвили, Д.Б. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2002. – №2. – С.270-275.
45. Геология Республики Татарстан: учебно–методическое пособие. – Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2007. – 74 с.

46. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.; 2003. – 46 с.
47. Гусева, Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы/ Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Винченко, Е.М. Аверочкин. – М.: Социально-экологический Союз, 2000. – 148 с.
48. Горбань, А. Н. Обучение нейронных сетей /М.С. Горбань. – М.: СССР – США СП «ПараГраф», 1990. – 160 с.
49. ГОСТ 17.1.1.01-77. Межгосударственный стандарт Охрана природы. Гидросфера. Основные термины и определения. – М. Изд-во стандартов. – 1977. – 35 с.
50. ГОСТ 17.1.3.07-82. Межгосударственный стандарт: правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – М.: Изд-во стандартов. –1983. – 55 с.
51. ГОСТ 17.1.5.04-81. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 1981. – 7с.
52. ГОСТ 2761-84. Источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – М.: Изд-во стандартов. – 2010. – 20 с.
53. ГОСТ Р 59024- 2020. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Российский институт стандартизации. – 2020. – 57 с.
54. ГОСТ 18164-72. Вода питьевая. Метод определения сухого остатка. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 1972. – 4 с.
55. ГОСТ 4011-72. Межгосударственный стандарт. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 1972. – 8с.
56. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды в РТ в 2022 году. – Казань, 2023. – С. 74-75.
57. Григорьев, Е.Г. Водные ресурсы России: проблемы и методы государственного регулирования / Е.Г. Григорьев. – М.: Научный мир, 2007. – 240 с.
58. Гусаков, Б.Л. Критическая концентрация фосфора в озерном притоке и её связь с трофическим уровнем водоема / Б.Л. Гусаков // Элементы круговорота фосфора в водоемах. – Л., 1987. – С.7-17.
59. Демин, А.П. Анализ и оценка влияния природных и антропогенных факторов на водные ресурсы бассейна Волги: водопотребление / А.П. Демин, Г.Х. Исмайылов, В.М. Федоров // Водные ресурсы. – 1997. – № 5. – С. 609-616.

60. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года, устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики [Электронный ресурс]. – URL: <http://europa.eu.int/smartapi/cgi> (дата обращения: 14.05.2023).
61. Дмитриев, В.В. Диагностика, экологическое нормирование и оценка устойчивости водных экосистем к антропогенному воздействию/ В.В. Дмитриев // Океанология в Санкт-Петербургском университете. – СПб: Изд-во СПбГУ. –1997. – С.196-211.
62. Драчев, С.М. Борьба с загрязнением рек, озер, водохранилищ промышленными и бытовыми стоками /С.М.Драчев. – М.: Наука, 1964. – 275 с.
63. Емельянова, В.П. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям / В.П.Емельянова, Г.Н.Данилова, Т.Х. Колесникова // Гидрохимические материалы. – 1983. – Т.88. – С.119-129.
64. Жукинский, В.Н. Критерии комплексной оценки качества поверхностных пресных вод / В.Н.Жукинский, О.П. Оксуюк, Г.Н. Олейник, С.И. Кошелева //Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. – М.: Наука, 1980. – С.57-63.
65. Жукинский, В.Н. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.Н. Оксуюк, Г.Н.Олейник, С.И. Кошелева // Гидробиол. журн. – 1981. – Т. 17, №3. – С. 38-49.
66. Зайцева, Н.В. Методические подходы к обоснованию выбора веществ для гигиенического регламентирования при прогнозировании санитарного состояния водного объекта / Н.В. Зайцева // Прогноз состояния и управления качеством окружающей среды в районах промышленных узлов. – Пермь,1980. – С.82-83.
67. Зайцева, И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы / И.С. Зайцева. – М.: Наука, 1990. – 184 с.
68. Замолодчиков, Д.Г. Оценки экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы /Д.Г. Замолодчиков// Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1993. – Т. 15. – С. 214-233.
69. Зенин, А.А. Гидрохимия Волги и её водохранилищ / А.А. Зенин. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 260 с.
70. Зернов, С.А. Общая гидробиология. Москва /С.А. Зернов. – Ленинград: Изд-во биол. литературы, 1934. – 503 с.
71. Зубарев, В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. – 2014. –Т.17, №2. – С.71- 77.

72. Иванов, Д.В. и др. Оценка вклада загрязняющих веществ в формирование качества вод реки Казанка/Д.В. Иванов и др. // Сборник трудов IX Международного Конгресса «Чистая вода. Казань». – Казань, 2018. – С.114-118.
73. Израэль, Ю.А. Экологический мониторинг и регулирование состояния природной среды / Ю.А. Израэль, Л.М. Филиппова, Г.Э. Инсаров и др. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеизд., 1981.–282 с.
74. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 555 с.
75. Кальмакова, Е.Г. Условия геохимического фона в бассейне реки Неман / Е.Г. Кальмакова // Материалы международной научно-практической конференции «География в 21 веке проблемы и перспективы развития». – Минск, 2004. – С.29-30.
76. Карадашина, Л.Ф. Опыт управления водными ресурсами в Европейском союзе и его значение для России / Л.Ф. Карадашина, С.А. Хохлявин, В.Н. Суряков // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. –2002. – Т. 4, №5. – С.406-413.
77. Караушев, А.В. Нормирование сбросов сточных вод в реки с учетом их режима / А.В. Караушев, А.Я. Шварцман // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда «Качество вод и научные основы их охраны». Т. 5. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 17-28.
78. Кармазинов, Ф.В. Экологические нормативы при сбросе сточных вод в водоемы / Ф.В. Кармазинов, Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев // Тез. докл. Третьего междунар. конгр. «Вода: экология и технология». – М.: 1998. – С. 408-409.
79. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 1997. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 217 с.
80. Кашина, С.К. Комплексная оценка загрязненности верхних участков реки Волга / С.К. Кашина, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)». – Казань, 2021. – С.572-575.
81. Кобзев, А.В. О комплексных показателях оценки качества природных вод по гидрохимическим показателям/ А.В. Кобзев, М.Р. Ерофеева //Труды братского государственного университета. Серия Естественные и инженерные науки. – Братск, 2019. – Т.1.– С.224 -230.
82. Колесникова, Е.В. Анализ качества воды малых рек в условиях высокой антропогенной нагрузки / Е.В.Колесникова // Сборник научных трудов «Вопросы прикладной экологии». – СПб., 2002. – С.99-103.
83. Кондратьев, С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007. – 253 с.

84. Корчуганов, А.С. Выпуски сточных вод в водоемы/А.С. Корчуганов // Вестник НЦ ВостНИИ. – №3. –2017. – С.53-54.
85. Красовский, Г.Н. Гигиеническая классификация водоемов по степени их загрязнения/ Г.Н. Красовский // Тез. доклада конференции «Вопросы охраны окружающей среды». – Пермь, 1981. С.11-14.
86. Красовский, Г.Н. Принципы эколого-гигиенического регламентирования качества водных объектов/ Г.Н. Красовский // Водные ресурсы. – 1982. – № 2. – С. 3-19.
87. Кремлёва, Э.Ш. Алгоритм построения модели каскадной нейросетевой фильтрации данных с различной степенью детализации / Э.Ш. Кремлёва, А.П.Кирпичников, С.В.Новикова, Н.Л. Валитова // Вестник Казанского технологического университета. – 2018. – Т.21, №8.– С.109-115.
88. Кузьмич, В.Н. Нормирование качества поверхностных вод: проблемы и решения / В.Н. Кузьмич, Л.С. Пономарева, Ю.И. Скурлатов, Т.А.Хоружая // Материалы VII гидрологического съезда. – СПб., 2013. – С. 341-346.
89. Куйбышевское водохранилище: экологические аспекты водохозяйственной деятельности / под. ред. В.З. Латыповой, О.П. Ермолаева, Н.П.Торсуева и др. – Казань: Изд-во Фолизить, 2007. – 320 с.
90. Лазарев, И.С. Проблемы нормирования качества поверхностных вод: методики, пример / И.С. Лазарев, В.А.Кочетов, В.А. Бударина, И.И. Косинова, Н.В.Маслова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2022 – Т.8 (18), Вып.2. – С.107-121.
91. Ласкорин, Б.Н.Стратегия и тактика охраны водоёмов от загрязнения / Б.Н. Ласкорин, В.И. Лукьяненко // Вестник РАН. –1992. – № 11. – С. 45–63.
92. Лапшов, Н.Н. Расчет выпусков сточных вод / Н.Н. Лапшов. – М.: Стройиздат, 1977. – 87 с.
93. Латыпова, В.З. и др. Развитие биогеохимических подходов к экологическому нормированию антропогенной химической нагрузки на природные среды / В.З. Латыпова, С.Ю. Селивановская, Н.Ю. Степанова, Е.А. Минакова // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2005.– Т.149 – С.159 – 169.
94. Латыпова, В.З. и др. Роль науки в обеспечении водохозяйственной деятельности в бассейне Волги / В.З. Латыпова и др.// Сборник трудов IX Международного Конгресса «Чистая вода». – Казань, 2018. – С. 72-75.
95. Левич, А.П. «IN-SITU»-технология установления локальных экологических норм /А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов, Д.В. Рисник / Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов // Материалы объединенного

плenums научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и межведомственной ихтиологической комиссии. – Москва, 2011. – С. 30-55.

96. Левич, А.П. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы /А.П. Левич, А.Т. Терехин // Водные ресурсы. – 1997. – № 3. – С. 328-335.

97. Лепихин, А.П. Некоторые ограничения и противоречия концепции экологических предельно допустимых концентраций для водных объектов/А.П. Лепихин // Тез. докл. конференции «Загрязнение окружающей среды: проблемы токсикологии и эпидемиологии». – Пермь, 1993. – С. 75-76.

98. Лепихин, А.П. Проблемы регулирования антропогенного воздействия на водные объекты /А.П.Лепихин // Водное хозяйство России. – 2004. –№ 4. –С. 318-345.

99. Лепихин, А.П. Особенности задания «фоновой» концентрации в естественных водоемах / А.П. Лепихин, С.А. Мирошниченко // Водное хозяйство России: Проблемы, Технологии, Управление. –2002. –Т3, № 3. – С. 247-262.

100. Лепихин, А.П. Построение региональных нормативов качества воды на примере бассейна Верхней Камы / А.П. Лепихин, С.А. Мирошниченко, Е.В. Венецианов, Т.Н. Губернаторова // Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции «Научное обеспечение реализации Водной стратегии РФ до 2020 г.». – Петрозаводск, 2015. – С.315-321.

101. Лозанский, В.Р. Возможные подходы к повышению эффективности управления качеством речных вод / В.Р.Лозанский // Охрана вод речных бассейнов. – Харьков, 1987. – С. 29-37.

102. Мазаев, В.Т. О нормативном документе «Источники централизованного водоснабжения. Гигиенические требования. Правила выбора и контроль качества/ В.Т. Мазаев, Т.Г. Шлепнина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. –№ 8.– С.3-7.

103. Марголина, С.М. О комплексной оценке степени загрязнения водоемов / С.М. Марголина, Рохлин Г.М. // Труды института прикладной геофизики. –1977. –№35. – С.99-100.

104. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия». – М., 1992. – 46 с.

105. Методика водохозяйственного районирования территории Российской Федерации: приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 111 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).

106. Методика гидрографического районирования территории Российской Федерации: приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 112 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).

107. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: приказ МПР России от 17.12.2007 № 333 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).

108. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества на водопроводных станциях при очистке природных вод. – ГУП «ВИМИ», 2004. – 92 с.

109. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: приказ МПР России от 12.12.2007 № 328 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).

110. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного назначения. – М., 2009. – 286 с.

111. Методические указания по установлению предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ для воды рыбохозяйственных водоемов – М.: 1985. – 88 с.

112. Минакова, Е.А. Многолетняя динамика качества поверхностных вод Куйбышевского водохранилища по гидрохимическим показателям в современный период / Е.А. Минакова, Ф.Ф. Мухаметшин, А.П. Шлычков // Сборник трудов IX Международного Конгресса «Чистая вода. Казань». – Казань, 2018. – С.126-130.

113. Михайличенко, К.Ю. Интегральная оценка качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения/ К.Ю. Михайличенко, А.Ю. Коршунова, А.И. Курбатова // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4. – С. 99–105.

114. Моисеенко, Т.И. Методология оценки качества вод с позиций экологической парадигмы / Т.И. Моисеенко // Известия РАН. Серия географическая. – 2009. – №1. – С.23-35.

115. Молчанова, Я.П. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы/ под ред. Т.В. Гусевой. – М.: Издательство «ФОРУМ-ИНФРА-М», 2011. – 190 с.

116. Музалевский А.А. Экологические риски: теория и практика / А.А. Музалевский, Л.Н. Карлин. – СПб: РГГМУ, ВВМ, 2011. – 448 с.
117. Музалевский, А.А. Оценка и управление качеством трансграничных водных объектов / А.А. Музалевский, Л.Н. Карлин // Учёные записки университета. – 2015. – № 4. – С. 199 – 211.
118. Музалевский, А.А. Управление рисками / А.А.Музалевский // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 10. – С. 2–24.
119. Мусихина, Т.А. Региональные нормативы содержания химических элементов в поверхностных водах / Т.А.Мусихина // Экология и промышленность России. – 2001. – № 5.– С. 26–28.
120. Мусихина, Т.А. Недостатки нормативов для оценки качества водных объектов по химическим показателям / Т.А. Мусихина, Л.М. Черезова // Использование и охрана водных ресурсов. – 2009. – № 3. – С. 17-19.
121. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. – Ливны, 2015. – 135 с.
122. Нежиховский, Л.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства / Л.А. Нежиховский. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 229 с.
123. Нечаев, А.П. Нормирование условий отведения сточных вод в поверхностные водные объекты / А.П.Нечаев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 1. – С. 2-6.
124. Никаноров, А.М. Научные основы мониторинга качества вод / А.М.Никаноров. – СПб: Гидрометеиздат, 2005 – 575 с.
125. Никаноров А.М. Комплексная оценка качества поверхностных вод суши / А.М.Никаноров, В.П. Емельянова // Водные ресурсы. – 2005 – Т.32. – С.61-69.
126. Никаноров, А.М. Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России / А.М. Никаноров, В.А. Брызгалов, Г.М. Черногаева // Метеорология и гидрология. – 2007. – №11. – С.62-79.
127. Никаноров, А.М. Анализ влияния мегаполисов на качество воды поверхностных водных объектов по эколого-токсикологическим показателям / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая, Т.В. Миронов // Водные ресурсы. – 2011. –Т. 38, № 5. – С. 621–628.
128. Никаноров, А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы качества поверхностных водных ресурсов / А.М. Никаноров, Г.М.Черногаева, С.Д. Беляев // Тезисы пленарных докл. VII Всерос. гидрол. съезда. – СПб., 2013. – С. 43-53.
129. Никаноров, А.М. Совершенствование методологии оценки качества воды и состояния водных объектов с учетом их региональных особенностей / А.М. Никаноров,

О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова // Материалы VII гидрологического съезда. – СПб., 2013. С.125 – 136.

130. Новиков, Ю.В. Оценка качества воды по комплексным показателям / Ю.В. Новиков, С. И. Плитман, К.О. Ласточкина, Р.М. Хвастунов // Гигиена и санитария. –1984. –№11. – С.17-19.

131. Новикова, С.В. Использование инновационных информационных технологий для типизации поверхностных вод р. Волга и питающих ее малых рек / С.В. Новикова, Ю.А. Тунакова, А.П. Кирпичников, А.Р. Шагидуллин, В.С. Валеев, Э.Ш., Кремлева, Г.Н. Габдрахманова // Вестник Казанского технологического университета. – 2019. – Т.22, №2. – С.150-154.

132. Новикова, С.В. Синергетическая нейро-экспертная модель на основе SOM-КАРТ для интегрального анализа экологических объектов / С.В. Новикова, Ю.А. Тунакова, А.Р. Шагидуллин, В.С. Валиев, Г.Н. Габдрахманова // Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XVIII». – Казань, 2018. – С. 318-322.

133. Новикова, Ю.А. Интегральная оценка качества питьевой воды Омской области / Ю.А. Новикова, Н.А. Тихонова, И.О. Мясников, Е.Л. Овчинникова, А.С. Колчин, М.Н. Черкашина, И.Г. Винокурова // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 8. – С. 861-865.

134. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).

135. Носаль, А.П. Геоэкологические проблемы управления качеством вод и их решение на основе системы регионального нормирования воздействия на водные объекты: Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук: 25.00.36. / А. П. Носаль. – Екатеринбург, 2004. – 282 с.

136. Оксийук, О.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.Н. Оксийук, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский и др. // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62-76.

137. Осипова, И.В. Комплексная оценка загрязненности воды реки Казанка / И.В. Осипова, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)». – Казань, 2021. – С.96-99.

138. Патин, С.А. Мифы и реалии эколого-рыбохозяйственного нормирования качества водной среды / С.А. Патин // Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии «Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов». – Москва, 2011. – С. 151-155.

139. Плетникова, И.П. Гигиенические основы развития систем водоснабжения и водоотведения в Сибири / И.П. Плетникова, А.Н. Сологуб // Водоснабжение и санитарная техника. – 1981. – №2. – С.4-6.

140. ПНД Ф 14.1:2.62-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и очищенных сточных водах методом колоночной хроматографии со спектрофотометрическим окончанием. – М., 1996. – 13 с.

141. ПНД Ф 14.1:2.109-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций сероводорода и сульфидов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином. – М., 1997. – 28 с.

142. ПНД Ф 14.1:2.97-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации формальдегида в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с ацетилацетоном – М., 1997. – 21 с.

143. ПНД Ф 14.1:2:3. 101-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом. – М., 1997. – 27 с.

144. ПНД Ф 14.1:2:4.254-09. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. – М., 2017. – 10 с.

145. ПНД Ф 14.1:2:3.1-95. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. – М., 2017. – 23 с.

146. ПНД Ф 14.1:2:3:4.111-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов в пробах питьевых, природных (поверхностных и подземных) и сточных вод меркуриметрическим методом. – М., 2017. – 18 с.

147. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений рН проб вод потенциометрическим методом. – М., 2017. – 14 с.

148. ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Методика выполнения измерений биохимического потребления кислорода после n дней инкубации (БПК полное) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. – М., 1997. – 30 с.

149. ПНД Ф 14.1:2:4.112-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония. – М., 1997. – 18 с.

150. ПНД Ф 14.1:2:4.114-97. Методика измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах гравиметрическим методом. – М., 1997. – 9 с.

151. ПНД Ф 14.1:2:4.132-98. Качественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионов нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии. – М., 1998. – 17 с.

152. ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы и хрома в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. – М., 1998. – 22 с.

153. ПНД Ф 14.1:2:4.177-2002. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фенола в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газожидкостной хроматографии. – М., 2002. – 15 с.

154. ПНД Ф 14.1:2:4.210-2005. Количественный химический анализ вод. Методика измерений химического потребления кислорода (ХПК) в пробах питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом. – М., 2005. – 14 с.

155. ПНД Ф. 14.1:2:4.254-09. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. – М., 2009. – 15 с.

156. ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатков в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом – М., 2015. – 11 с.

157. ПНД Ф 14.1:2:4.262-10. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. – М., 2010. – 12 с.

158. ПНД Ф 14.2.99-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в пробах природных вод титриметрическим методом. – М., 1997. – 20с.

159. ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель». – М., 1999. – 22 с.

160. ПНД Ф 14.1:2:4.181-02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации алюминия в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02. – М., 2002. – 29 с.

161. ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов калия, натрия, лития, магния, кальция, аммония, стронция, бария в пробах питьевых, природных, сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». – М., 2011 – 31 с.

162. Попченко, В.И. Еще раз о качестве воды, биоиндикации и экологическом нормировании антропогенного воздействия на гидроэкосистемы равнинных водохранилищ/ В.И. Попченко, Г.С. Розенберг, В.К. Шитников // Известия Самарского центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17, №4. – С.179-188.

163. Порядок организации разработки и утверждения ПДК и ОБУВ загрязняющих веществ в воде рыбохозяйственных объектов. Утвержден комитетом РФ по рыболовству 14.09.1995 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015260> (дата обращения 28.05.2023).

164. Постановление Правительства РФ «О признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации, об отмене некоторых нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю при осуществлении государственного экологического надзора» от 18 сентября 2020 года № 1496 [Электронный ресурс]: – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363081/ (дата обращения 15.08.2024).

165. Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 N 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические

показатели наилучших доступных технологий» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318449/ (дата обращения 28.04.2023).

166. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373399/ (дата обращения 28.03.2023).

167. Потылицына, Е.Н. Использование искусственных нейронных сетей для решения прикладных экологических задач / Е.Н. Потылицына, Л.В. Липинский, Е.В. Сугак // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=9779> (дата обращения: 14.09.2023).

168. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 14.10.2023).

169. Приказ 10.12.2015 №4345 «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения в административных границах муниципального образования города Казани на период с 2016 по 2025 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/438828648/titles/QBМOM1> (дата обращения 18.02. 2022).

170. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года) от 13 декабря 2016 года N 552 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 15.04. 2022).

171. Приказ от 29.12.20 №1118 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей. Утверждена Министерством природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275596> (дата обращения 6.02.2022).

172. Примак, Е.А. Нормирование и снижение негативного воздействия на водные экосистемы: учебное пособие для высших учебных заведений / Е.А. Примак, Н.В. Зуева, Д.К. Алексеев, Е.Ю. Воякина. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 116 с.

173. Природа и природные ресурсы Республики Татарстан: иллюстрированная энциклопедия. – Казань, 2019. – 584 с.

174. Пузаченко, Ю. Г. Методологические основания экологического нормирования / Ю.Г. Пузаченко // Экологическое нормирование: проблемы и методы. –1992. – С. 122-125.

175. Р 52.24.763-2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. – Ростов-на-Дону, 2012. – 26 с.
176. Р.52.24.353-2012. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. – М., 2012 – 28 с.
177. Распоряжение Правительства РФ № 2909р от 20 октября 2023г. "Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1303478770> (дата обращения 16.02. 2024).
178. Рекомендации по разработке и утверждению нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения с учётом природных особенностей водных объектов. – ФГБУ ЦУРЭН, 2016. – 7 с.
179. РД 52.24.395-2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. – Ростов-на-Дону, 2017. –19 с.
180. РД 52.24.435-2008. Массовая концентрация меди в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Росгидромет. Гидрохимический институт. – Ростов-на-Дону, 2008. – 17 с.
181. РД 52.24.309-2004. Рекомендации. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обр. 14.10.2023).
182. РД 52-24-368-2006. Массовая концентрация анионных синтетических поверхностно-активных веществ в водах. Методика выполнения измерений экстракционно-фотометрическим методом. – Ростов-на-Дону, 2006. –18 с.
183. РД 52.24.405-2018. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика измерений турбидиметрическим методом. – Ростов-на-Дону, 2018. – 26 с.
184. РД 52.24.622-2001. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – Л.: Гидрометеиздат, 2001. – 64 с.
185. РД 52.24.622-2019. Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод. – СПб: Гидрометеиздат, 2019. – 69 с.
186. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов на Дону: Росгидромет, 2002. – 55 с.
187. Родзиллер, И.Д. Прогноз качества воды водоемов-приемников сточных вод / И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1984. – 262 с.

188. Рождественский, А.В. Статистические методы в гидрологии / А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
189. Розенберг, Г.С. Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования / Г.С. Розенберг, Г.П. Краснощеков. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. – 249 с.
190. Руффель, М.А. Методы расчета разбавления сточных вод при санитарной охране водоемов / М.А. Руффель // Гигиена и санитария. – 1968. – № 2. – С. 24-31.
191. Саакян, Ю.З. Анализ «Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» в общем контексте водоохранного законодательства/ Ю.З. Саакян, А.В. Григорьев, Е.А. Кравец, Е.Н. Рудаков, А.М. Фаддеев, А.А. Шкарупа // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 2. – С. 25–30.
192. Садыков, О.Ф. Экотоксикология и проблемы нормирования антропогенной нагрузки на окружающую среду и природные комплексы / О.Ф. Садыков // Экотоксикология и охрана природы. – Рига, 1988. – С. 153-155.
193. Сает, Ю.Е. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод / Ю.Е. Сает, Е.П. Янин. – М.:, 1985. – 48 с.
194. Сайриждинов, С.Ш. Анализ проблемы водоснабжения и водоотведения в Поволжье и обоснование её решения программными методами/ С.Ш. Сайриждинов, В.А. Селезнёв, А.В. Селезнёва // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2015. Т. 21, № 4. – С. 68–77.
195. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 25.12.2022).
196. 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 производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения 6.02.2022).
197. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест. Санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938> (дата обращения 15.08. 2022).
198. СанПиН 4630-93. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. – М., Минздрав РФ, 1993. –30 с.

199. Селезнёв, В.А. Разработка бассейновых нормативов качества воды (на примере водных объектов нижней Волги)/ В.А Селезнёв, А.В. Селезнёва, К.В. Беспалова // Водное хозяйство России. – 2013. – № 2. – С. 42–53.
200. Селезнев, В.А. О совершенствовании методики нормирования сточных вод / В.А. Селезнев, А.В. Селезнева // Материалы Всероссийской конференции «Управление устойчивым водопользованием». – Москва, 1997. – С 168-169.
201. Селезнев, В.А. Оценка воздействия точечного источника загрязнения на качество вод водохранилища / В.А. Селезнев, А.В. Селезнева // Водные ресурсы. – 1999. – № 3. –С. 501-511.
202. Селезнев, В.А. Методология мониторинга и регулирования антропогенного воздействия на качество вод водохранилища Волжско-Камского каскада: диссертация на соискание степени доктора технических наук: 11.00.11/Селезнев Виктор Анатольевич – Тольятти, 1999. – 338 с.
203. Селезнёва, А.В. От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты /А.В. Селезнева. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2007. – 105 с.
204. Селезнева, А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения / А.В.Селезнева // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – 2003. – Том 5, № 2(10). – С. 268-278.
205. Селезнев, В.А. Экологические критерии нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты / В.А. Селезнев, К.В. Беспалова // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. – 2015. – № 1(23). – С. 130-139.
206. Селезнев, В.А. Формирование качества воды Волжских водохранилищ при аномальных погодных условиях / В.А. Селезнев, К.В. Беспалова, А.В. Селезнева // Водное хозяйство России. – 2013. – № 5. – С. 4-14.
207. Селезнёва, А.В. Разработка превентивных мер борьбы с «цветением» воды на крупных водохранилищах /А.В.Селезнева // Экология и промышленность России. – 2010. – № 7. – С. 38–43.
208. Сивоголовко, Е. В. Методы оценки качества чёткой кластеризации // Компьютерные инструменты в образовании / Е.В.Сивоголовко. – 2011. –№4. – С. 14-31.
209. Сидоренко, Г. И. О создании единой эколого-гигиенической нормативной базы планирования и реализации общегосударственной природоохранной деятельности / Г. И Сидоренко, Н. Н. Литвинов // Тезисы докл. Конференции «Нормирование антропогенных нагрузок». – М., 1988. – С. 8-11.
210. Слесарева, К.В., Комплексная оценка загрязненности воды реки Кама / К.В. Слесарева, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Сборник трудов Международной молодежной

научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)». – Казань, 2021. – С.179-183.

211. Соколова, С.А. Актуальные проблемы экологического нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов/ С.А.Соколова// Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии «Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов». – М., 2011. – С. 56-68.

212. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения 14. 03.2022).

213. Степанова, Н.Ю. Куйбышевское водохранилище: экологические аспекты водохозяйственной деятельности / Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова. – Казань: Фолиантъ., 2007. –320 с.

214. Стрелец, А.И. Использование нейронных сетей на основе многослойного персептрона для прогнозирования условий протекания химических реакций / А.И Стрелец, Ю.Д. Протопопова, Д.В. Тоичкин, Б.В. Ключникова // Форум молодых ученых. – 2018. – №7 (23). – С. 926-930.

215. Строков, А.А. Особенности нормирования качества воды при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты / А.А. Строков // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. –№ 3. – С. 105-109.

216. Таганов, Д.Н. К вопросу об интегральном показателе загрязненности воды реки/ Д.Н. Таганов // Труды института прикладной геофизики. – 1982. –№44. – С.32-34.

217. Татарникова Н.А. Некоторые вопросы оценки качества воды городского водозабора / Н.А. Татарникова, О.В. Кочетова, К.А. Сидорова, Т.А. Юрина, А.А. Матвеева // Московский экономический журнал. – 2022. – № 5. С. 280–289.

218. Тимофеева, Л.А. Проблемы нормирования качества поверхностных вод / Л.А. Тимофеева, Г.Т. Фруммин // Ученые записки. – 2015. – №38. – С.215- 229. Тунакова, Ю.А. Результаты комплексной оценки уровня загрязнения поверхностных вод на территории РТ / Ю.А. Тунакова, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Сборник трудов международной научной конференции «Химия и инженерная экология». – Казань, 2021. – С.174-177.

219. Тунакова, Ю.А. Методология определения региональных пороговых концентраций для расчёта нормативов допустимого сброса жидких производственных отходов в поверхностные воды / Ю.А Тунакова, С.В.Новикова, Е.В Байбакова, В.С. Валиев // Теоретическая и прикладная экология. –2021. – № 4. – С. 28–33.

220. Тунакова, Ю.А. Подходы для установления пороговых концентраций приоритетных загрязняющих веществ в компонентах урбоэкосистемы / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, Д.В. Иванов, А.Р. Шагидуллин, В.С., А.Х. Мораиш // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 3. – С. 23–28.

221. Тунакова, Ю.А. Результаты апробации усовершенствованной методики расчета нормативов допустимого сброса в поверхностные воды загрязняющих веществ двойного генезиса (на примере фосфатов) от организованного источника/ Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Сборник докл. Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования». – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – С.272-276.

222. Тунакова, Ю.А. Использование метода нейросетевой кластеризации для выделения значимых показателей, характеризующих состояние поверхностных водных объектов в РТ/ Ю.А. Тунакова, С. В. Новикова, В. С. Валиев, Е. В Байбакова // Вестник технологического университета. – 2023. – Т.26, №3. – С.72-78.

223. Тунакова, Ю.А. Определение безопасных для человека концентраций катионов металлов в поверхностных источниках питьевого водоснабжения на примере г. Казани / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, Р.И. Файзуллин, Г.Н. Габдрахманова, О.Н. Кузнецова // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т.20, № 8. – С. 115-120.

224. Тунакова, Ю.А. Учет природно-антропогенных особенностей поверхностных вод для интегральной оценки уровня их загрязненности / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования». – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – С.64-69.

225. Тунакова, Ю.А. Результаты апробации подхода для расчета нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ, преимущественно антропогенного происхождения от организованного источника в поверхностные воды / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XXII». – Казань, 2023. – С.350-354.

226. Тунакова, Ю.А. Развитие методики расчёта нормативов допустимого сброса жидких производственных отходов с учётом региональных особенностей водных объектов / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – №4. – С.70-77.

227. Тунакова, Ю.А. Учет природно-антропогенных особенностей распределения гидрохимических показателей при расчете удельного комбинаторного индекса загрязненности

поверхностных вод / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Российский журнал прикладной экологии. – 2024. – №1. – С. 52-58.

228. Тунакова, Ю.А. Результаты типизации поверхностных вод на территории Республики Татарстан по значениям гидрохимических показателей / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Сборник трудов международной научной конференции «Химия и инженерная экология– XXII (школа молодых ученых)». – Казань, 2022. – С. 345-349.

229. Тунакова Ю.А. Интегральная оценка состояния поверхностных вод на основе нейросетевой модели кластеризации / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова, К.Н. Новикова // Сборник трудов международной научной конференции «Химия и инженерная экология– XXII (школа молодых ученых)». – Казань, 2022. – С.350-354.

230. Тунакова, Ю.А. Подход для расчета региональных нормативов качества и воздействия для рек республики Татарстан / Ю.А. Тунакова, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Материалы национальной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». – СПб., 2022. – С.99-101.

231. Фаткузаманов, А.Р. Комплексная оценка загрязненности участков реки Волга, расположенных ниже г. Казань / А.Р. Фаткузаманов, Е.В. Байбакова, В.С. Валиев // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)». – Казань, 2021. – С.234-239.

232. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Собрание законодательства РФ. – 2002. № 2. – С.739-777.

233. Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 14.10.2023).

234. Федерова, В.А. Устойчивость геосистем к загрязнению как основа экологического нормирования качества воды: на примере рек севера ЕТР: диссертация на соискание канд. геогр. наук: 25.00.36 / Федерова Виктория Алексеевна. Казань, 2001. – 145 с.

235. Федосеев, И.А. История проблемы классификации и районирования вод суши СССР / И.А. Федосеев. – М.: ООО «Искра», 2003 –173 с.

236. Фруммин, Г.Т. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения / Г.Т. Фруммин, Л.А. Тимофеева // Биосфера. – 2014. – Т. 6, № 2. – С. 118–133.

237. Хоружая, Т.А. Разработка системы интегральных показателей эколого-токсикологического состояния эвтрофных водохранилищ / Т.А. Хоружая, Н.А. Мартышева, Е.Б. Юрасова // Материалы VII гидрологического съезда. – СПб., 2013. – С. 186-195.
238. Хосровянц, И.Л. Научные основы инструментария диагностико-прогностических расчетов качества воды в водных объектах / И.Л.Хосровянц. – М., Изд-во: ЗАО ПО «Совинтервод», 2006. – С. 46-49.
239. Чеботарев, Г.Н. Обоснование региональных нормативов качества вод и правовых механизмов их установления на уровне субъектов Российской Федерации/ Г.Н.Чеботарев, Т.И.Моисеенко, М.В. Бородач, Е.Ф. Гладун, Т.А. Кремлева // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – №12. – С.227-237.
240. Черкинский, С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы / С.Н. Черкинский. – М.: Стройиздат, 1977. –223 с.
241. Черников, Н.А. Региональные нормативы по сбросу сточных вод в РФ / Н.А. Черников, В.Г. Иванов // Вода и экология: проблемы и решения. –2020. –№2 (82). – С. 59-66.
242. Черногаева, Г.М. Проблема нормирования стока химических веществ с водосборной территории / Г.М. Черногаева, В.Н. Кузьмич // Метеорология и гидрология. – 2003. – №3. – С.75-86.
243. Черногаева, Г. М. Интегральная оценка качества воды в бассейне Волги по данным мониторинга в XXI в./ Г. М.Черногаева, Л. Р. Журавлева, Ю. А. Малеванов // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – Т. 87. – № 6. – С. 875–884.
244. Шагидуллин, Р.Р. Эколого-аналитический контроль равнинного водохранилища. – Казань: Изд-во Казан. университета, 2011. –336 с.
245. Шагидуллин, Р.Р. Оценка техногенной нагрузки сточных вод предприятий на Куйбышевское водохранилище / Р.Р. Шагидуллин, В.З. Латыпова, О.В. Никитин, О.Г. Яковлева // Георесурсы. – 2011. – №2 (38). – С. 24-26.
246. Шадрин, А. В. Визуализация трехмерных карт Кохонена с гексагональной решеткой / А. В. Шадрин // Цифровая обработка сигналов. – 2015. – № 2. – С. 23-27.
247. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН. – 2003. – 463 с.
248. Шорникова, Е.А. Интегральная оценка состояния экосистем водотоков по гидрохимическим показателям (на примере Среднего Приобья) / Е.А. Шорникова // География и природные ресурсы. – 2009. – №1. – С.38-45.

249. Экологические модификации и критерии экологического нормирования / Труды Международного симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. –384 с.
250. Экология города Казани. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2005. – 527с.
251. Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. – Л.: Изд. ЛГУ, 1988. – 192 с.
252. Яйли, Е.А. Методология и способ оценки качества компонентов природной среды урбанизированных территорий на основе индикаторов, индексов и риска / Е.А. Яйли, А.А. Музалевский // Экологические системы и приборы. – 2006. – № 12. – С. 23–29.
253. Яковлев, С.В. К разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты / С.В. Яковлев, А.П. Нечаев, Е.В. Мясникова и др. // Тезисы докл. Третьего междунар. конгр. «Вода: экология и технология». – М., 1998. – С. 607.
254. Янин, Е.П. Оценка возможного влияния долговременных природных процессов на нормирование химического состава поверхностных вод // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2012. – №6 – С.73-88.
255. Янин, Е.П. Региональная природная неоднородность химического состава вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения / Е.П. Янин, В.Н.Кузьмич, О.М. Иваницкий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. –2012.– №6. – С.3-72.
256. Ярушкина, Н. Г. Интеллектуализация автоматизированного проектирования сложных технических систем в условиях неопределенности //Автоматизация процессов управления. – 2011. – №. 1. – С. 13-19.
257. Ярушкина, Н.Г. Мягкая экспертная система. Определение. Архитектура. Характеристики. Теоретические возможности и опыт разработки / Н.Г. Ярушкин, А.М. Наместников // Вестник УлГТУ. – 2000. – №3. – С. 92-100.
258. Ясинский, С.В. и др. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С.В. Ясинский, Е.В. Венецианов, И.А. Вишневская // Водные ресурсы. – 2019. –Т.46, №2– С. 232-244.
259. Adams, M.J. Chemometrics in Analytical Spectroscopy. – Cambridge, 1990. – p.120.
260. American Water Works Association and Water Environment Federation: of Water and Wastewater. – Washington, DC, USA. – 1992. –541p.
261. Alimissis, A. Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models / A. Alimissis, K. Philippopoulos, C. Tzanis, D. Deligiorgi // Atmospheric Environment. – 2018. – V. 191. – P. 205-213.

262. Bahhar, C. Wildfire and Smoke Detection Using Staged YOLO Model and Ensemble / C. Bahhar, A. Ksibi, M. Ayadi, M. Jamjoom, Z. Ullah, B. Soufiene, H. Sakli // *Electronics*. – 2023. – V. 12. – P. 228.
263. Barker, M. Partial least squares for discrimination / M. Barker, W. Rayens // *Chemom.* – 2003. – V. 17. – P. 166–173.
264. Beşikçi, E. An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations / E. Beşikçi // *Computers & Operations Research*. – 2016. – V. 66. – P. 393–401.
265. Box, G. Time series analysis: forecasting and control / G. Box, G. Jenkins // Oakland, California: Holden-Day. – 1976. – 575 p.
266. Brereton, R.G. Chemometrics. Application of mathematics and statistics to Laboratory Systems / R.G. Brereton, G. R. Lloyd // Ellis Horwood, New York. 1990 – 308 p.
267. Brereton, R.G. Partial least squares discriminant analysis: taking the magic away. *J Chemom*/ R.G Brereton, G.R Lloyd // New York. – 2014. – V. 282. – P. 21–35.
268. Brereton, R.G. Chemometrics in analytical chemistry—part I: history, experimental design and data analysis tools / R.G. Brereton, J. Jansen, J. Lopes, F. Marini, A. Pomerantsev, O. Rodionova // *Anal Bioanal Chem*. – 2017. – V. 409. – P. 5891–5899.
269. Brodnjak-Voncina, D. Multivariate data analysis in classification of vegetable oils characterized by the content of fatty acids / D. Brodnjak-Voncina, Z. Cencic-Kodba, M. Novic // *Chemometr. Intell. Lab. Syst.* – 2005. — V. 75. – P. 31–43.
270. Brown, S. A note on environmental risk and the rate of discount / S. Brown // *Journal of Environmental Economics and Management*. – 1983. – V. 10. – P. 282–286.
271. Bu, J. Comparative Study of Hydrochemical Classification Based on Different Hierarchical Cluster Analysis Methods./ J. Bu, W. Liu, Z. Pan, K. Ling // *Int J Environ Res Public Health*. – 2020. – V. 18. – P. 17–24.
272. Claude, E. *Boyd Water quality An Introduction*/ E. Claude // Kluwer Academic Publishers: Boston. Dordrecht. – London. – 2000. – 330 p.
273. Crockett, A.B. Water and wastewater quality monitoring. Mc Murdo Station. Antarctica / A.B. Crockett // *Environ. Monitoring and Assess.* – 1997. – V. 47. – P. 39–57.
274. Crommentuijn, T. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations / T. Crommentuijn, D. Sijm, J. Bruijn // *J. of Environ. Management*. – 2000. – V. 60. – P. 121–143.
275. Delen, D. Artificial neural networks in decision support systems / D. Delen, R. Sharda // *Handbook on Decision Support Systems 1*. Springer, Berlin, Heidelberg. – 2008. – P. 557–580.

276. Desgraupes, B. Clustering Indices / B. Desgraupes // *Lab Modal'X*. – 2013. –V 2. P. 1-34.
277. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/ EC. *Official Journal*. – V. 348. –2008. P. 84-97.
278. Du, X. Water quality assessment with hierarchical cluster analysis based on Mahalanobis distance / X. Du, F. Shao, S. Wu, H. Zhang, S. Xu // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2017. – V. 189 (7) – 335 p.
279. Gholami, V. Groundwater quality modeling using self-organizing map (SOM) and geographic information system (GIS) on the Caspian southern coasts / V. Gholami, M. Khaleghi, E. Taghvaye Salimi // *Journal of Mountain Science*. – 2020. – V. 17. – P. 1724-1734.
280. Gorrochategui, E. Data analysis strategies for targeted and untargeted LC-MS metabolomic studies: overview and workflow. *TrAC* // E. Gorrochategui, J. Jaumot, S. Lacorte, R. Tauler // *Trends in Analytical Chemistry*. – 2016. – V.2 – P. 425-442.
281. Goudarzi, F. Location of Water Quality Monitoring Stations Using an Artificial Neural Network Modeling in the Qarah-Chay River Basin // F. Goudarzi, A. Kazemi Hedayatiaghmashhadi, C. Fürst // *Optimal Water*. – 2022. –V. 14. – 870 p.
282. Guagliardi, I. Exploring Soil Pollution Patterns Using Self-Organizing Maps / I. Guagliardi, A. Astel, D. Cicchella // *Toxics*. – 2022. – V. 10(8). –P. 416-417.
283. Hafiz Tayyab, R. Visual features based automated identification of fish species using deep convolutional neural networks / R. Hafiz Tayyab, M. IkramUllahLali, S. Zahoor, S. Zakir, A Rehman, Syed Ahmad Chan Bukhari // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2019. – V. 167. – P. 167-178.
284. Haykin S. S., *Neural networks: A Comprehensive Foundation, and Edition* / S. S. Haykin // Prentice Hall, USA, 1999. – 842 p.
285. Hutcheson, M.R. Waste load allocation for whole effluent toxicity to protect aquatic organisms / M.R. Hutcheson // *Water Resour. Res.* – 1992. – V. 28. – № 11. – P. 2989-2992.
286. Jatnika, H. et al. Analysis of Data Mining in the Group of Water Pollution Areas Using the K-Means Method in Indonesia. / H. Jatnika, et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – V. 1.– P. 12-14.
287. Kalivas, J. *Calibration Methodologies in Comprehensive Chemometrics* / J. Kalivas, S. Brown, R. Tauler, B. Walczak // Amsterdam:Elsevier. – 2009. – V.3. P. 18-23.

288. Karuppiah, M. Impact of point and nonpoint source pollution on pore waters of two Chesapeake Bay tributaries/ M. Karuppiah, G. Gupta // *Ecotoxicol. and Environ. Safety.* – 1996.– V. 5. – № 1.– P. 81-85.
289. Kohonen, T. Essentials of the self-organizing map/ T. Kohonen // *Neural Networks.* – 2013.– V. 3. – P. 52–65.
290. Kumar, J. Neural network based solutions for locating groundwater pollution sources / J. Kumar // *Rajesh Hydrology Journal.* – 2006. – V. 29. – P. 55-66.
291. Lankmayr, E. Chemometrical classification of pumpkin seed oils using UV-Vis, NIR and FTIR spectra / E. Lankmayr, J. Mocak, K. Šnuderl, B. Balla, T. Wenzl, D. Bandoine, M. Gfrerer, S. Wagner // *Biochem. Biophys. Methods.* – 2004. V. 61.– P.95-106.
292. Laplante, B. Environmental regulation: performance and design standards / B. Laplante // *Getting It. Green.: Case studies Can. environ. regul.* – Calgary. – 1990. – P. 59-88.
293. Lee, S. Clustering of Time Series Water Quality Data Using Dynamic Time Warping: A Case Study from the Bukhan River Water Quality Monitoring Network. / S. Lee, J. Kim, J. Hwang, K.-J Lee, J. Oh, J. Park, T.-Y. Heo // *Water.* – 2020. – V. 12. – P. 2411.
294. Liankui, Z. Cluster analysis of PM2.5 pollution in China using the frequent itemset clustering approach / Z. Liankui, Y. Guangfei // *Environmental Research.* – 2022. – V. 204. – P.1120.
295. Lin, H., Jianhong& Bai, Xiangwei. Feature Extraction of Marine Water Pollution Based on Data Mining/ H. Lin, J. Cui, X. Bai// *Symmetry.* – 2021. – V 13. – P. 355.
296. Massar, D.L. Handbook of Chemometrics and Qualimetrics/ D.L. Massar, B. G. Vandeginste, L.M. Buydens, J. De, S. P. Le // Elsevier, Amsterdam. –1997. – 867 p.
297. . Mattiev, J. ACHC: Associative Classifier Based on Hierarchical Clustering / J. Mattiev, B. Kavsek // *Intelligent Data Engineering and automated Learning.* –2021. – P. 560-571.
298. Nedyalkova, M. Chemometric Risk Assessment of Soil Pollution" / M. Nedyalkova, V. Simeonov // *Open Chemistry.* – 2019. – V.17. – P. 711-721.
299. Snuderl, K. Multivariate data analysis of natural mineral waters/ K. Snuderl, M. Simonik, J. Mocak, D. Brodnjak-Voncina // *Acta Chim. Slov.* – 2007. – V.54. – P.33-39.
300. Stylianoudaki, C. Groundwater Nitrate Contamination Using Artificial Neural Netwo / C. Stylianoudaki; I. Trichakis, G.P. Karatzas // *Water.* – 2022. – V.14. – P. 1173.
301. Thissen, R. Modelling radionuclide distribution and transport in the environment / R. Thissen, M., M. Thome, et al // *Environmental Pollution.* – 1999. – V. 100. – P .151-177.
302. Thomas, M. Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery / M. Thomas, J. Zhu, J. Romagnoli // *Journal of Process Control.* – V. 67. – 2018. – P. 160 -175.

303. Tunakova, Y. The Use of Neural Network Modeling Methods to Determine Regional Threshold Values of Hydrochemical Indicators in the Environmental Monitoring System of Waterbodies / Y. Tunakova, S. Novikova, V. Valiev, E. Baibakova, K. Novikova // *Sensors*. – 2023. – V.23 (13). – P. 2-15.
304. Ubah, J.I. Forecasting water quality parameters using artificial neural network for irrigation purposes / J.I. Ubah, L.C. Orakwe, K.N. Ogbu, et al. // *Sci Rep* – 2021. – V. 11, 24438 – P. 1-13.
305. Walling, D.E. Sediment-associated nutrient transport in UK rivers/ D.E. Walling, B.W. Webb, M.A. Russell // *Freshwater Contam.* – 1997. – V. 243. – P. 69-81.
306. Water Quality Standards Handbook, EPA [Электронный ресурс]: –URL: <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-handbook> (дата обращения: 14.05.2023).
307. Wolski, G. Determination of plant communities based on bryophytes: The combined use of Kohonen artificial neural network and indicator species analysis/ G. Wolski, A. Kruk // *Ecological Indicators*. – 2020. – V.113. – P.1470-1600.
308. Wu, J. Hybrid Model for Water Quality Prediction Based on an Artificial Neural Network, Wavelet Transform, and Long Short-Term Memory/ J. Wu, Z. A. Wang // *Water*. – 2022. – V. 14. – P. 610-612
309. Yussof, F. LSTM Networks to Improve the Prediction of Harmful Algal Blooms in the West Coast of Sabah/ F. Yussof, N. Maan, M. Reba // *Environ. Res Public Health*. – 2021. – V. 19. – P. 50-76.
310. Zhanbo, C. Evaluating Sustainable Liveable City via Multi-MCDM and Hopfield Neural Network/ C. Zhanbo // *Hindawi. Mathematical Problems in Engineering*. Zhanbo. – 2020. – P.1-11.
311. Zupan, M. Long-term quality monitoring/ M. Zupan // *Acta carsol.* – 1997. – № 1. – P. 92-102.

**Основные методические подходы к региональному нормированию качества
поверхностных вод**

Садыков (1988) [192]	Требования к нормативам: основываются на знаниях об экосистемах, полученных при всестороннем изучении влияния на них факторов антропогенного характера на фоне разных физических и географических условий среды.
Волков (1993) [33]	Требования к экологическим нормативам: дифференцированные, ресурсные территориальные, отраслевые нормативы должны иметь классификацию по временному признаку. В ходе процедуры экологического нормирования должны учитываться зональные факторы устойчивости экологических систем по биогеографическому принципу.
Белоногов, Торсуев (1996) [18]	Нормативы качества поверхностных вод должны быть территориально дифференцированными в зависимости от степени устойчивости водных экосистем и местных условий.
Селезнев, Селезнева (1997) [200]	Представлен расчет для определения предельно допустимого сброса и временно согласованного сброса вредных веществ в поверхностные водные объекты со сточными водами. Авторы предлагают для расчета использовать региональные (территориальные) нормативы качества воды.
Беляев (2004, 2007) [19; 20]	Представлен анализ и вынесено предложение по применению для разных категорий водопользования целевых показателей качества воды
Селезнева (2007) [203]	Требования к нормированию антропогенной нагрузки: Реализация нормативов качества поверхностных вод на основе региональных ПДК, которые получены в результате расчета, учитывающего показатели регионального мониторинга природных вод
Лепихин и др.(2015) [100]	Предложена новая методология установления региональных нормативов качества воды в объектах, являющихся приемником сточных вод, Разработанный методологический подход учитывает факторы, определяющие содержание загрязняющих веществ (тяжелых металлов) в природных водах и его пространственно-временную изменчивость в водных объектах

Приложение 2.

Формирование гидрохимических показателей речных вод

Показатель	Форма и влияние на другие показатели,	Подверженность сезонным и суточным колебаниям	Природные источники поступления	Антропогенные источники поступления
БПК ₅	Сильно зависит от температуры воды. Повышение температуры на 10°С приводит к увеличению БПК в несколько раз (2-3). Влияет исходное содержание O ₂	Суточное и сезонное влияние ярко выражено	Процессы продуцирования биомассы внутри водного объекта; привнос из других водных объектов; поверхностный сток (вымывание из почвы) атмосферные осадки	Сточные воды предприятий, в стоках которых содержатся органические вещества; поверхностный сток с полей и урбанизированных территорий, стоки ЖКХ
Взвешенные вещества	Влияют на глубину проникновения солнечных лучей, определяют прозрачность воды, состав CO ₂ , O ₂ и других газов, растворенных в воде	Содержание связано с сезонными факторами и режимом стока	Глина, песок, ил, суспендированные органические и неорганические вещества	Поверхностный сток с объектов горных разработок, сельскохозяйственных территорий и др.
HCO ₃ ⁻	Сильно связано со значением pH	Содержание подвержено сезонным колебаниям	Источники поступления: 1)растворение мергелей, доломитов, известняков; 2)атмосферные осадки; 3) грунтовые воды; 4) почвы в пределах водосборной площади.	Сточные воды предприятий по производству соды; силикатов, химической промышленности
Cl ⁻	Обладают высокой миграционной способностью, высокой растворимостью. Содержание коррелирует с минерализацией. Организмами используется в незначительных количествах	Содержание подвержено сезонным колебаниям	Источники поступления: 1)вулканические процессы; 2) почвы; 3)магматические породы; 4)в меньшей степени подземные воды	Стоки промышленных предприятий (химической промышленности) и ЖКХ (содержатся в антигололедных реагентах)
Жесткость	Чаще жесткость связана с присутствием ионов кальция, реже - магния	Выражена сезонная динамика (снижается в период половодья, возрастает в конце зимы)	Ионы кальция, магния и других щелочноземельных металлов, обуславливающих жесткость, поступают в результате процессов растворения и химического выветривания горных пород, прежде всего, известняков и доломитов; источниками также являются микробиологические процессы, протекающие в почвах на площади водосбора, в донных отложениях	Сточные воды предприятий

Продолжение приложения 2

Показатель	Форма и влияние на другие показатели,	Подверженность сезонным и суточным колебаниям	Природные источники поступления	Антропогенные источники поступления
О ₂ , раствор. в воде	Содержание кислорода зависит от прозрачности, температуры, освещенности, глубины, содержания органических и неорганических веществ. Определяет окислительно-восстановительный потенциал и имеет огромное значение для всей экосистемы водного объекта	Ярко выражена суточная и сезонная динамика содержания О ₂	Источники поступления О ₂ : 1)растворение из атмосферного воздуха; 2)фотосинтетическая деятельность водных растений, водорослей; 3)поверхностный сток. Снижение содержания кислорода снижается ввиду потребления живыми организмами для дыхания (биологическое), расход для деятельности бактерий (биохимическое потребление), расход для окисления химических веществ (химическое потребление).	Сточные воды с высоким содержанием органических веществ. Поверхностный сток с содержанием биогенных веществ
Аммоний-ион	Азотные соединения всех видов способны к взаимным превращениям. Скорость процессов зависит от температуры. Преобладание ионов аммония является маркером недавнего загрязнения	Выражена сезонная динамика	Источники поступления: 1)естественное разложение белков; 2)разложение мочевины; 3)разложение (дезаминирование) аминокислот	Сточные воды комплексов животноводства, неочищенные канализованные стоки, сточные воды предприятий пищевой, лесохимической промышленности и др.
Нитраты	Присутствуют в растворенном виде. На содержание сильно влияют процессы потребления организмами, особенно фитопланктоном и бактериями-денитрофикаторами, содержание кислорода в воде	Ярко выражена сезонная динамика содержания (самая низкая в период вегетации растений, максимальная в зимнее время)	Источниками поступления являются атмосферные осадки, а также деятельность нитрифицирующих бактерий	Сточные воды промышленных предприятий и ЖКХ (много содержится после биологической очистки); поверхностный сток с земель сельскохозяйственного назначения при использовании азотных удобрений

Продолжение приложения 2

Показатель	Форма и влияние на другие показатели,	Подверженность сезонным и суточным колебаниям	Природные источники поступления	Антропогенные источники поступления
Нитриты	Присутствуют в растворенном виде. Изменчивость концентраций с глубиной, что связано с разным содержанием кислорода (реакция нитрификации протекает только в присутствии кислорода, а денитрификация в отсутствии или дефиците кислорода), содержание зависит также от температуры природной воды	Выражена сезонная динамика. Наибольшие концентрации наблюдаются в конце лета (разложение биомассы), минимальное содержание или отсутствие зимой.	Источниками поступления является разложение биомассы (промежуточный продукт биохимических реакций)	Может поступать со сточными водами пищевой промышленности, применяют для снижения скорости коррозии конструкций, может применяться на станциях водоподготовки
Электропроводность	При повышении температуры электропроводность увеличивается	Выражена, т. к. зависит от температуры воды и содержания ионов.	Сильно влияют на электропроводность ионов натрия, калия, кальция, хлора, сульфатов, гидрокарбонатов	При спуске сточных вод, содержащих Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- , HPO_4^{2-}
Фосфаты (минеральный)	Содержание зависит от скорости фотосинтеза и биохимического разложения биомассы	Ярко выражена сезонная динамика содержания. Максимальные концентрации осенью и зимой, минимальные – в летний период	Источники поступления: 1) выветривание и растворение горных пород, в которых присутствуют ортофосфаты; 2) разложение биомассы в воде; 3) разложение биомассы в почве в пределах водосборного бассейна	Поверхностный сток с полей в пределах водосборной площади, сброс хозяйственно-бытовых сточных вод (применение синтетических моющих средств, присутствует в составе антинакипных реагентов).
ХПК	Присутствуют в разных формах: взвеси, коллоид, раствор	Подвержено сезонным колебаниям. Динамика зависит от гидрологических условий, гидробиологического режима. Имеет выраженную зональность	Естественные поступления органических веществ из торфяных болот; процессы биологического продуцирования;	Поступление органических веществ с промышленными и коммунально-бытовыми сточными водами; поверхностный сток

Продолжение приложения 2

Показатель	Форма и влияние на другие показатели,	Подверженность сезонным и суточным колебаниям	Природные источники поступления	Антропогенные источники поступления
Fe	Присутствует в природных водах в разных формах (взвешенное состояние, раствор, коллоидное состояние). Зависит от pH, содержания органических веществ, активности железобактерий. Влияет на состав фитопланктона и качественный состав микрофлоры.	Концентрация подвержена сезонным колебаниям.	Главный источник поступления - выветривание горных пород, их механическое разрушение и растворение; поступает из подземных вод.	При спуске сточных вод металлургической, лакокрасочной, металлообр., текстильной и др. отраслей промышленности
pH	Зависит от процессов фотосинтеза, влияет на миграцию многих элементов, определяет токсикологические характеристики веществ	pH подвержен сезонным колебаниям	Геологические условия водосборного бассейна, климатические условия, состав почв (гумусовых кислот) в бассейне реки	Промышленные сточные воды
Mn	На содержание Mn влияет водородный показатель (pH), температура природной воды и содержание O ₂ , растворенного в воде, видового состава водорослей. Влияет на скорость утилизации водорослями CO ₂ . Способствует переходу Fe (II) в Fe (III)	Концентрация подвержена сезонным колебаниям	Поступает в результате выщелачивания руд, содержащих марганец; в результате разложения сине-зеленых водорослей и других водных организмов	Поступает со сточными водами предприятий химической промышленности, шахтными водами, предприятий, обогащающих марганцевую руду.
Cu	Чаще в виде Cu (II) Реже в трудно растворимых формах Cu ₂ O, Cu ₂ S, CuCl. Участвует в реакции фотосинтеза, влияет на усвоение растениями соединений азота	Содержание меди зависит от фактора сезонности	Источниками поступления меди являются подземные воды и разрушение горных пород, в составе которых присутствует медь	Медьсодержащие сточные воды (шахтные, предприятия металлургии и химической промышленности), коррозия труб и конструкций в воде
Zn	Активно влияет на рост и развитие организмов. Сульфат и хлорид цинка токсичны,	Концентрация подвержена сезонным колебаниям	Разрушение горных пород и минералов	Сточные воды гальванической, текстильной, промышленности, химической (производство минеральных красок), горно-обогатительных производств, шахтные воды

Продолжение приложения 2

Показатель	Форма и влияние на другие показатели,	Подверженность сезонным и суточным колебаниям	Природные источники поступления	Антропогенные источники поступления
Ni	Концентрация зависит от pH, температуры. Сорбентами являются глины, органические соединения, гидроксид железа и др.	Концентрация подвержена сезонным колебаниям	Источником поступления являются никельсодержащие породы, также никель вымывается из почв; из биологических отходов при их разложении	Сточные воды заводов производства синтетического каучука, горно-обогатительных предприятий, реализующих никелирование
Pb	Легко адсорбируется взвешенными веществами и аккумулируется в донных отложениях.	Содержание подвержено сезонным изменениям	Поступает в результате растворения природных минералов	Шахтные сточные воды, сточные воды горно-обогатительных и металлургических производств, осадки.
Фенол	На содержание влияет температура. Фенол значительно меняет содержание биогенных элементов, в том числе, кислорода и углекислого газа	Выражена сезонность, скорость распада фенола растет с повышением температуры, поэтому в летний период содержание фенола падает	Основным природным источником поступления является биохимический распад органического вещества (в водной среде и в донных отложениях)	Присутствует в сточных водах многих отраслей промышленности, в том числе, нефтеперерабатывающей, лакокрасочных производств, лесохимии, предприятий, перерабатывающих сланцы и кокс
Нефтепродукты	В результате физико-химических процессов содержание нефтепродуктов меняется (влияют процессы биохимического и химического окисления, сорбционные процессы и др.). В присутствии нефтепродуктов меняется pH, ухудшается обмен с воздухом, ухудшаются органолептические показатели воды	Содержание естественных углеводородов зависит от биологической активности, а, следовательно, имеет место фактор сезонности	Доля естественных процессов в содержание углеводородов мала (основные процессы связаны с разложением мертвой органики).	Транспортировка нефти с использованием водных акваторий, сточные воды предприятий нефтедобычи и нефтепереработки, машиностроения и металлургии и др.
SO ₄ ²⁻	Содержание сульфатов зависит от содержания кальция (при низком содержании кальция повышается), кислорода (при отсутствии O ₂ серобактерии восстанавливают до сульфидов).	Ярко выражено сезонное колебание концентрации	Источники поступления: 1)растворение гипса и других серосодержащих пород; 2)окисление сульфидов и серы; 3) отмирание организмов; 4) подземный сток	Поступают с шахтными стоками; сточными водами промышленных предприятий; ЖКХ; сельского хозяйства

Приложение 3.

Территориальные и гидрологические характеристики исследуемых рек РТ

Наименование водного объекта	Куда впадает, № порядка водотока	Длина водотока, км		Расположение водного объекта	Средний многолетний годовой расход воды, м ³ /с
		Всего	в т.ч. в РТ		
р. Волга	Каспийское море	3531	180	Верхняя Волга (от истока до устья Оки), средняя Волга (от устья Оки до Жигулевских гор), верхняя Волга (от Жигулевских гор до устья)	3500 (в районе РТ)
Куйбышевское водохранилище		510 км по р. Волге и 280 км по р. Каме		Располагается в пределах Самарской и Ульяновской областей, Татарстана, Марий Эл и Чувашской Республики.	Минимальный среднемесячный расход воды 95 % обеспеченности – 1010 м ³ /с; среднегодовой расход воды – 3970 м ³ /с;
р. Ашит	Илеть, левый приток, 2 порядок	82,8	76,1	Арский, Атнинский, Высокогорский р-ны РТ. Имеет 19 притоков, наиболее крупные: Ура (14,2 км), Шаши (14,8 км), Уртемка (17,8 км), Илинка (17 км) – правые и Семит (24,1 км) – левый.	5,27
р. Свяга	Куйбышевское водохр. (Свияжский залив), правый приток, 1 порядок	377,4	161	Ульяновская обл., Чувашская Республика, Дрожжановский, Буинский, Тетюшский, Камско-Устьинский, Апастовский, Верхнеуслонский, Кайбицкий, Зеленодольский р-ны РТ. Принимает 79 притоков.	48,8
р. Сулица	Куйбышевское водохр. (Свияжский залив), правый приток, 1 порядок	43,1	43,1	Верхнеуслонский р-н РТ, имеет 17 притоков, наиболее крупные Чангара (14,4 км), Клянчейка (15,1 км)	1,78
р. Казанка	Куйбышевское водохр. (левосторонний приток)	140	140	Река в западном Предкамье, левый приток р. Волги. Исток севернее с. Бимери Арского района, протекает по территории Высокогорского района, устье – в черте г. Казани. Принимает 41 приток. Самый крупный – Кисьмень	13,2

Продолжение приложения 3

Наименование водного объекта	Куда впадает, № порядка водотока	Длина водотока, км		Расположение водного объекта	Средний многолетний годовая расход воды, м ³ /с
		Всего	в т.ч. в РТ		
р. Кама	Куйбышевское водохр. (Камский участок), левый приток, 1 порядок.	1805	360	Река протекает по территории Удмуртии, Кировской и Пермской областей и Татарстана в нижнем течении.	4100
р. Меша	Правый приток р. Камы	186,4	186,4	Река в западном Предкамье, протекает по территории Сабинского, Тюлячинского и Пестречинского, Кукморского районов; низовье и устье в Лаишевском районе РТ. Принимает 45 притоков, самый крупный Малая Меша.	17,9 (в устье)

Особенности физико-географических условий на территории исследования

Река	Особенности рельефа и геологических условий	Тип почв и особенности почвенного покрова	Лесистость территории водосбора, %
р. Волга	Правый склон р.Волги сложен пермскими, юрскими, верхнемеловыми породами. Левый склон р. Волги представлен четвертичными аллювиальными террасами. Создание Куйбышевского водохранилища сильно повлияло на скорость абразионных процессов, определяющих морфологию и динамику процессов на склонах Волги. В долине Волги мощность четвертичных отложений составляет 80–120 м; в их состав входят пески, супеси, легкие и тяжелые суглинки.	На левобережье Волги в пределах РТ преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы. На правом берегу р. Волги - лесостепные черноземы и темно-серые лесные.	35
Куйбышевское водохранилище	Правобережье слагает Приволжская возвышенность. Рельеф представлен холмами, которые называют горами Услонские, Сюкеевские, Тетюшские, Щучьи. Присутствуют аллювиальные отложения верхнечетвертичного возраста, представленные мелкозернистыми песками, перекрытыми почвенно-растительным слоем. Правый берег водохранилища высокий и крутой. Приурезовая, нижняя часть берегового склона, подвержена медленной ветро-волновой абразии. В абразионном уступе берега обнажены суглинки, глины.	Преобладают серые лесные почвы. Механический состав почв, варьирующий от тяжелосуглинистого до легкосуглинистого, аналогичен составу дерново-подзолистых разновидностей. Берега сложены глинистыми породами, которые легко размываются.	30 Травянистые широколиственные леса. Широко распространены мелководные водно-болотные сообщества
р. Кама	Камская долина ассиметрична: правый склон высокий и крутой, местами обрывистый, левый пологий с комплексом аллювиальных террас. В гидрогеологическом отношении территория относится к Средне-Русскому и частично к Восточно-Русскому артезианским бассейнам. Основные водоносные горизонты связаны с пермскими отложениями. В терригенных отложениях (песчаники, пески, алевролиты и аргиллиты) и карбонатных породах (известняки, доломиты) горизонтов. Карбонатные породы казанского яруса пермской системы выходят на поверхность на побережье Камы, по долинам ее притоков и крупным оврагам. В долине Камы в состав четвертичных отложений входят легкие и тяжелые суглинки, пески.	Серые лесные почвы и черноземы лесостепи По механическому составу наиболее распространены глинистые и тяжелосуглинистые почвы (36 %) общей площади района), среднесуглинистые (18 %), песчаные (9 %) и песчаные и супесчаные (6 %), а также кислые метаморфические и изверженные (8 %)	36 Сильно варьирует на протяжении реки (от 80 % на севере до 6 % в лесостепном).

Продолжение приложения 4

Река	Особенности рельефа и геологических условий	Тип почв и особенности почвенного покрова	Лесистость территории водосбора, %
р. Казанка	<p>Долина реки на большом протяжении ассиметричная. Правый склон более крутой. Бассейн Казанки имеет общий уклон поверхности к юго-западу. Средняя ширина водосбора почти на всем протяжении 17–18 км. В северной и северо-восточной частях бассейна Казанки в рельефе прослеживаются южные отроги Вятского Увала с абсолютными высотами 150–210 м.</p> <p>В водосборе прослеживаются пермские отложения, представленные глинами и мергелями с обнажениями известняков, доломитов и гипсов, являющихся карстующими породами. Присутствуют породы морских и лагунно-морских фаций, представленные песчаниками, алевролитами, глинами, мергелями, известняками, известковыми доломитами, доломитами с прослоями и линзами гипса. Верхнеказанские отложения вскрываются на склонах оврагов и балок, речных долин. Характерна повышенная загипсованность.</p>	Светло–серые среднеподзолистые лесные почвы, испытывающие интенсивное антропогенное воздействие. Противозерозионная устойчивость средняя.	15
р. Меша	<p>На водосборах Мешы прослеживаются пермские отложения, представленные глинами и мергелями с обнажениями известняков, доломитов и гипсов, являющихся карстующими породами.</p> <p>Сложен породами морских и лагунно-морских фаций: песчаниками, алевролитами, глинами, мергелями, известняками, доломитами с прослоями и линзами гипса. В бассейне р. Меша поверхность сложена толщей осадочных пород пермского, неогенового и четвертичного возрастов. Значительно распространены неогеновые отложения, заполняющие палеодолины Волги, Камы и Мёши; выражены глинами с прослоями песков и песчаников. Четвертичные отложения представлены аллювием, слагающим пойму и надпойменные террасы, а также элювиально-делювиальными отложениями на водоразделах и верхней части склонов речных долин. Долина Мешы представляет собой слабохолмистую равнину. На западе абсолютная высота водоразделов составляет 100-120 м, на востоке 140-160 м. Водораздел бассейнов рек Меша и Брысса характеризуется наибольшими высотами по сравнению с надпойменной волжской террасой. В целом, Мёша имеет широкую долину и хорошо развитую пойму шириной до 1,5 км, низкую надпойменную террасу и высокую средне четвертичную террасу. Абсолютная высота истока 170 м, устья – 53 м. Долина ассиметричная, ее правые склоны более крутые и возвышенные, во многих местах расчленены оврагами, балками, лощинами.</p>	Лесные (светло-серые, серые, темно-серые и коричнево-серые почвы подзолистого типа) и дерново-подзолистые. В пойме Мёши сформировались аллювиальные дерновые насыщенные карбонатные почвы.	17 Темнохвойные широколиственные леса, пойменные луга

Продолжение приложения 4

Река	Особенности рельефа и геологических условий	Тип почв и особенности почвенного покрова	Лесистость территории водосбора, %
р. Сулица	Долина реки ассиметричная, правый склон более крутой. На возвышенных участках, на водоразделах, при водораздельных и частично средних частях склонов, встречается карбонатно-песчанисто-глинистый элювий татарского отдела пермской системы. К долине р. Сулицы приурочены фрагменты каменистых карбонатных образований. Для правобережья р. Сулицы характерны карстовые провалы и оползни.	Поймы и низкие террасы реки р. Сулица образованы аллювиальными отложениями, состоящими из мелкозернистых песков, супесей и суглинков. Серые лесные почвы (38,1 %) занимают большую часть левобережья реки Сулица и южной части междуречья Сулицы.	20
р. Ашит	Водосбор Ашита представляет собой холмистую равнину, расчлененную речными долинами на широкие пологие гряды. Долина реки ассиметрична (правые склоны более крутые), со значительной глубиной эрозионного вреза. Пойма реки хорошо выражена, в нижнем течении заболочена. Русло реки извилистое. В долине Ашита развиты аллювиальные отложения верхнего и современного звеньев четвертичной системы, слагающие первую надпойменную террасу и пойму. В разрезе террас и поймы принимают участие разнозернистые пески с примесью гравийно-галечного материала; глины, суглинки, илы (пойменная фракция). Озерно-болотные отложения представлены низинным торфом средней степени разложения. Абсолютная высота истока 155 м, устья – 81 м.	В составе почвенного покрова преобладают дерново-среднеподзолистые и светло-серые лесные почвы, типичные для таежно-лесной зоны. Дерново-подзолистые почвы встречаются по левобережью реки Ашит на севере района, небольшими участками по всей территории.	8

Гидрохимические особенности исследуемых водных объектов

Река	Гидрологические условия, тип питания	Гидрохимические особенности	Густота речной сети, км/км ²
Р. Волга	Доля снегового питания около 60 %, грунтового – 30 %; дождевого – 10 %. Продолжительность ледостава 120-140 дней. Максимальная температура воды в июле – 24 °С	Наибольшие значения минерализации на участке ниже устья Камы (минерализация от 250 до 400 мг/л, период половодья от 210 до 260 мг/дм ³). После зарегулирования вынос твердых веществ сократился за счет осаждения, вынос растворенных веществ увеличился до 65-70 млн. т. год	0,42
Куйбышевское водохранилище	Ведущая роль в водном питании водохранилища принадлежит талым водам.	Гидрохимический состав сложный. Солевой состав определяется химическим составом р. Волги и р. Камы. В целом вода относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, неоднородна по минерализации. Минерализация колеблется от 250-380 мг/дм ³ (от малой до средней), жесткость от 2-5 мг-экв/дм ³ . По содержанию биогенных веществ превышения по биогенным веществам, особенно по аммонийному азоту (1-24 ПДК _{р/х}). Вода имеет повышенную перманганатную окисляемость, в воде и донных отложениях повышенное содержание тяжелых металлов.	0,29
Р. Кама	Питание преимущественно снеговое, а также подземное и дождевое.	На солевой состав оказывают влияние гипс и поваренная соль от пермских отложений, в ионном составе преобладают сульфаты, минерализация колеблется от 168 до 674 мг/дм ³ .	0,50
Р. Казанка	Питание преимущественно снеговое, а также подземное и дождевое.	Общая минерализация у г. Казани в меженный период она достигает 1500-1750, иногда 2200 мг/дм ³ . Вода более жесткая зимой и летом 23 мг-экв/дм ³ и менее жесткая (3-6 мг-экв/дм ³) весной	0,41
Р. Сулица	Питание, смешанное с абсолютным преобладанием снегового. Показатель среднего слоя годового стока в бассейне Сулицы составляет 113 мм.	Вода гидро-карбонатно-кальциевая, умеренно жесткая (3-6 мг-экв/дм ³) весной и жесткая летом. Общая минерализация 200-300 мг/дм ³ весной и 500-700 мг/дм ³ зимой и летом.	0,4
Р. Ашит	Питание смешанное с абсолютным преобладанием снегового	Жесткость воды более высокая зимой и летом (12-20 мг-экв/ дм ³) по сравнению с весенним периодом (3-6 мг-экв/дм ³). Общая минерализация 450 мг/ дм ³ летом и зимой, а в весенний период составляет 100-200 мг/ дм ³ . В устье реки жесткость более высокая по сравнению с истоком и русловой частью и достигает 1100 мг/ дм ³ в зимнее время.	0,38
Р. Меша	Питание смешанное, преимущественно снеговое.	Гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая, мягкая (1,5-3 мг-экв/ дм ³) весной, жесткая (6-9 мг-экв/дм ³) зимой и летом. Общая минерализация 200-300 мг/дм ³ весной и 700 - 1000 мг/ дм ³ зимой и летом.	0,35

Массы загрязняющих веществ, отводимых в р. Волгу и р. Каму со сточными водами

Водный объект	NH_4^+	Взвешенные вещества	БПК полный	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Cd^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+} (все растворимые в воде формы)	Cl^-
Р. Волга	1358,24	4119,42	2905,21	62789,88	28,00	3570593,34	404193,52	36136,78
Р. Кама	193,40	956,11	1 194,08	11 577,51	0,00	1 951 315,1	253 185,18	18 277,02
Водный объект	Mn^{2+}	Сухой остаток	Нефть и нефтепродукты	Ni^{2+} ; кг	NO_3^-	NO_2^- кг	Pb^{2+} (все растворимые в воде формы)	F^-
Р. Волга	1 907,75	138 257,23	15,01	8,77	11012454,96	143 069,13	0,45	541,29
Р. Кама	1 611,00	60 005,56	6,82	3,51	4 668 553,99	28 808,57	0,12	541,29
Водный объект	Стирол	Ванадий	Жиры\ масла	Углеводороды ароматические;кг	ХПК	Ксилол (смесь изомеров)	S_2^-	H_2S
Р. Волга	57,32	0,78	2,30	54,81	2 875 286,50	3,68	39,70	0,00
Р. Кама	57,3	0,78	0,00	54,81	2 575 416,58	3,68	37,90	0,00

Сравнительная характеристика методов определения гидрохимических показателей в исследуемых водных объектах

Показатель	Метод	Область применения метода	Диапазон измеряемых концентраций	Достоинства /недостатки
Медь	Атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией	ПНД Ф 14.1:2:4.140-98 [152] электротермический атомно-абсорбционный метод определения массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы и хрома в питьевых, природных и сточных водах	0,0001-0,5 мг/дм ³	Определение массовых концентраций металлов проводится как по общему содержанию, так и в виде кислото-экстрагируемых, взвешенных или растворенных форм. Высокая скорость дает возможность определения нескольких металлов / Жесткие требования к квалификации персонала; дорогостоящее оборудование; Метод избирателен, если атомно-абсорбционный спектрометр снабжен устройством для коррекции неселективного поглощения. Использование графитовых печей значительно усложняет проведение исследований
Железо, цинк, марганец; никель	Атомно-абсорбционная спектрометрия с пламенной атомизацией	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 Метод определения массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра кадмия и свинца в питьевых, природных и сточных водах.	Железо (0,01-15 мг/дм ³); Цинк (0,004-0,2 мг/дм ³); Марганец (0,01-5,0 мг/дм ³);	Возможность определения большого количества показателей; возможность длительного хранения подкисленной пробы (консервированной), небольшой объем пробы, возможность определения общего содержания металлов в пробе / Жесткие требования к квалификации персонала; дорогостоящее оборудование.
Фенол	Газо-жидкостная хроматография	ПНД Ф 14.1:2:4.177-2002 [153] Измерение массовой концентрации фенола в пробах питьевых, природных и сточных вод	0,5-200 мкг/м ³	Не требует предварительного разбавления и концентрирования пробы, применяется для загрязненных вод; возможность применения с консервированной пробой и без консервации / Низкий срок хранения консервированной пробы (не более 3 суток); требует дорогостоящего оборудования; значительные затраты по времени (термостатирование в теч 24 час при 200 °С)
Хлориды, сульфаты, нитраты, нитриты, фосфаты хлориды	Ионная хроматография	ПНД Ф 14.1:2:4.132-98 [151] Измерение массовой концентрации анионов (нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата) при их совместном присутствии в питьевых водах, водах поверхностных водоемов и водотоков, сточных водах	0,1-75 мг/дм ³ без разбавления, 75-1000 мг/дм ³ с разбавлением	Позволяет определить несколько компонентов из одной пробы; мешающее влияние нефтепродуктов устраняется на стадии пробоподготовки. / Высокая чувствительность метода к факторам окружающей среды (при работе хроматографа должны быть исключены помехи); требует дорогостоящего оборудования
Концентрация растворенного кислорода	Титриметрический метод (йодометрия)	ПНД Ф 14.1:2:3.101-97 [143] Определение массовой концентрации растворенного кислорода О ₂ в пробах природных и очищенных сточных вод	0-15,0 мг/дм ³	Не требует разбавления и концентрирования пробы, относительная простота, не требует дорогостоящего оборудования / На определение кислорода оказывают влияние окислители, восстановители, окрашенные и взвешенные вещества.

Продолжение приложения 7

Показатель	Метод	Область применения метода	Диапазон измеряемых концентраций	Достоинства /недостатки
Биологическое потребление кислорода БПК ₅	Титриметрия	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 [148] Методика измерений биохимического потребления кислорода после n-дней инкубации (БПКпопн.) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах	0,5-1000 мг О ₂ /дм ³ .	Доступность метода, большой диапазон измеряемых концентраций; метод применим к разным объектам анализа / значительное время на получение результата, влияние условий инкубации на результат анализа (обеспечивается отсутствие света, постоянная температура)
ХПК	Фотометрия	ПНД Ф 14.1:2:4.210-2005 [154] Методика распространяется на следующие объекты анализа: воды питьевые; воды природные пресные, в том числе поверхностных и подземных источников водоснабжения; воды сточные производственные, хозяйственно-бытовые, ливневые и очищенные.	10-30000 мг/дм ³ по методу А; 10-100 мг/дм ³ ; 100-30000 мг/дм ³ по методу Б	Большой диапазон измеряемых значений / При значении ХПК свыше 1000 мг/дм ³ необходимо предварительное разбавление пробы. Ограничение разбавления пробы не более чем в 100 раз. Большие затраты времени - 4 часа одна проба, 25 проб - 5 часов; определению мешают хлориды, влияние которых устраняется в ходе анализа добавлением сернистой ртути. Содержанием других неорганических веществ, способных окисляться бихроматом в кислой среде, пренебрегают. Небольшой срок хранения пробы, в том числе консервированной (3 суток).
Гидрокарбонаты НСО ₃ ⁻	Титриметрия	ПНД Ф 14.2.99-97 [158] Количественный химический анализ проб природных вод	10-500 мг/дм ³ при потенциометрическом титровании (вариант 1) 10-300 мг/дм ³ при определении обратным титрованием (вариант 2) без разбавления и концентрирования пробы.	Широкий диапазон измерений (если массовая концентрация гидрокарбонатов в анализируемой пробе превышает верхнюю границу, допускается разбавление пробы дистиллированной водой); простота и доступность метода/ Необходимость устранения мешающих (мутности, высокой цветности, активного хлора); Метод применим только для природных вод.

Показатель	Метод	Область применения метода	Диапазон измеряемых концентраций	Достоинства /недостатки
Ионы аммония NH_4^+	Фотометрия	ПНД Ф 14.1:2:4.262-10 [157] измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера	Для питьевых, поверхностных и сточных вод - 0,05-4,0 мг/дм ³ , для морских вод 0,05-1,0 мг/дм ³	При превышении массовой концентрации ионов аммония верхней границы диапазона допускается разбавление пробы до регламентированного диапазона; простота и доступность метода / Мешающие влияния, обусловленные присутствием аминов, хлорамина, ацетона, альдегидов, спиртов, фенолов, компонентов жесткости воды (кальция и магния), взвешенных веществ, железа, сульфидов, хлора, гуминовых веществ, устраняются специальной подготовкой пробы к анализу. Короткий срок хранения пробы, в том числе концентрированной (не более 2 суток) при температуре 3-4°С.; чувствительность пробы (не должна подвергаться воздействию прямого солнечного света, перепадам температуры).
Взвешенные вещества	Гравиметрический метод	ПНД Ф 14.1:2:4.254-09 [155] Методика распространяется на следующие объекты анализа: воды питьевые (в том числе расфасованные в емкости), воды природные (поверхностные, в том числе морские и подземные, в том числе источники водоснабжения), воды сточные (производственные, хозяйственно-бытовые, ливневые и очищенные).	В питьевых и природных водах 0,5-5000 мг/дм ³ ; для сточных вод – 0,5-5000 мг/дм ³	Простота и доступность метода, широкий диапазон объектов анализа, широкий диапазон измеряемых значений / Определению мешают значительные количества масел и жиров, поэтому при отборе пробы должно быть исключено попадание в нее поверхностной пленки или кусочков жира. Если все-таки в пробе, доставленной в лабораторию, на поверхности присутствуют видимые жир или масло, то перед проведением анализа их удаляют (шпателем или фильтровальной бумагой). Большие затраты времени на анализ. Продолжительность анализа одной пробы на определение взвешенных веществ 14 часов, серии из 10 проб 15 часов Продолжительность анализа одной пробы на определение прокаленных взвешенных веществ 17 часов, серии из 10 проб 18 часов.
Алюминий	Фотометрический метод с алюминоном	ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000 Определение алюминия в природных, питьевых и сточных водах	0,04-0,56 мг/дм ³	Возможность применения метода после консервации пробы или без консервации в первые два часа; относительная простота метода/Определению мешает содержание в исследуемой пробе железа (III), остаточного хлора, фторидов от 0,3 до 25 мг/дм ³ , фосфатов от 0,2 до 80 мг/дм ³ , а также суммарное количество органических веществ по химическому потреблению кислорода (ХПК) до 1500 мг/дм ³ .

Показатель	Метод	Область применения метода	Диапазон измеряемых концентраций	Достоинства /недостатки
Магний, кальций	Пламенный атомно-абсорбционный	ПНД Ф 14.1:2:4.137-98 Методика измерений массовых концентраций магния, кальция, стронция пламенным атомно-абсорбционным методом в пробах питьевых, природных и сточных вод.	Кальций в природных водах 0,2-5000 мг/дм ³ Магний 0,04-5000 мг/дм ³	Большие диапазоны измерений, применимы к разным объектам анализа; метод применим к консервированным и неконсервированным пробам (срок хранения 2 суток) / Мешающее влияние со стороны сопутствующих элементов: алюминия, кремния, титана, цинка, серной кислоты, фосфорной кислоты в воздушно-ацетиленовом пламени устраняют введением в анализируемые пробы раствора хлорида лантана (спектроскопического буфера); жесткие квалификационные требования к сотрудникам лаборатории; требует дорогостоящего оборудования
Нефтепродукты	Флуориметрический	Измерение массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных (включая морские), питьевых и сточных вод	0,005-50 мг/дм ³	Определению нефтепродуктов не мешают жиры и гуминовые вещества / Методика не предназначена для анализа проб природных (включая морские), питьевых и сточных вод, загрязнённых различными бензинами, керосинами, а также индивидуальными веществами - продуктами газоперерабатывающих заводов и предприятий оргсинтеза
Нитриты	Фотометрическое определение с реактивом Грисса	ПНД Ф 14.1:2.3-95 Нитрит-ионы в поверхностных, сточных и питьевых водах	0,02 -3 мг/дм ³	Относительно невысокая стоимость оборудования / Необходимость разбавления пробы при превышении концентрации нитрит-ионов 0,6 мг/дм ³ . Определению мешают мутность и взвешенные вещества. Трехвалентное железо, двухвалентная ртуть, серебро, висмут, трехвалентная сурьма, свинец, трехвалентное золото, хлорплатины и метаваиадаты мешают определению, так как выпадают в осадок. В анализируемой пробе не должны присутствовать сильные окислители или восстановители. Определению мешает также окраска воды и трихлорамин, двухвалентная медь занижает результаты вследствие вызываемого ею каталитического распада диазотированной сульфаниловой кислоты. Метод требует много видов реактивов
Фосфаты	Фотометрическое определение восстановлением аскорбиновой кислотой	ПНД Ф 14.1:2;4.112-97 [149] Определение массовой концентрации фосфат-иона в питьевых, поверхностных и сточных водах	0,05-80 мг/дм ³	Возможность устранения мешающих примесей при подготовке пробы к анализу. / Необходимость разбавления пробы при концентрации фосфат-ионов выше 1 мг/дм ³ . Необходимость разбавления пробы при присутствии в пробе сульфидов, сероводорода, хроматов, арсенатов, нитритов и железа

Продолжение приложения 7

Показатель	Метод	Область применения метода	Диапазон измеряемых концентраций	Достоинства /недостатки
Минерализация	Гравиметрический метод	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97 [150] Методика измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах	50-25000 мг/дм ³ .	Широкий диапазон измерения, доступность метода, возможность применения к разным объектам анализа / Метод не предусматривает использование консервированных проб; затратный по времени, редко используется в качестве самостоятельного показателя
Натрий, калий	Плазменно-фотометрический метод	РД 52.24.391-2008 Массовая концентрация натрия и калия в водах. Методика выполнения измерений плазменно-фотометрическим методом	1 -50 мг/дм ³	Широкий диапазон измерений / Выполнению анализа мешают кальций, взвешенные вещества, коллоидные вещества. Мешающее действие устраняется фильтрованием

Приложение 8.

Диапазоны значений гидрохимических показателей исследуемых водных объектов за исследуемый период

Точка отбора проб	Аммоний ион, мг/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	Железо, мг/дм ³	Жесткость, оЖ	Кальций, мг/дм ³	Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	Магний, мг/дм ³	Марганец, мг/дм ³	Мель, мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	содержание ионов (минерализация)	Прозрачность, см	Свинец, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Температура, С	Фенол, мг/дм ³	Фосфат ион, мг/дм ³	ХПК, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³	Эл/проводность, мксм/см
	ПДК 0,5 мг/дм ³	ПДК 2 мгО ₂ /дм ³	не нормир.	не нормир.	ПДК 0,1 мг/дм ³	не нормир.	ПДК 180,0 мг/дм ³	не менее 6 мгО ₂ /дм ³	ПДК 40 мг/дм ³	ПДК 0,01 мг/дм ³	ПДК 0,001 мг/дм ³	ПДК 0,05 мг/дм ³	ПДК -40,0 мг/дм ³	ПДК 0,08 мг/дм ³		не нормир.	ПДК 0,006 мг/дм ³	ПДК 100,0 мг/дм ³	-	ПДК 0,001 мг/дм ³	ПДК 0,2 мг/дм ³	не нормир.	ПДК 300,0 мг/дм ³	ПДК 0,01 мг/	не нормир.
Куйбышевское водохранилище 1 км выше водозабора	0,05	0,59	0,5	96	0,017	1,91	29,7	7,3	1,46	0,007	0	0	0,88	0,022	227	15	0	18,8	0,3	0	0,042	0	6	0	608
	0,78	19,8	98,5	336	0,307	10,97	172	16,8	32,7	0,069	0,002	0,09	27,5	0,142	920	40	0	294	-26,2	0,006	0,479	43	24,7	0,048	1096
Куйбышевское водохранилище створ выше г. Зеленодольск, правый берег	0,122	0,57	1,2	115	0,012	2,92	44,3	5,02	4,5	0,012	0	0	0	165	18	0	42,2	0,2	0	0,062	6	6,6	0	345	
	1,85	3,9	60,5	441	0,102	10,8	154	16,1	40,5	0,53	0,028	0,047	10,5	0,134	820	30	0	214	22,5	0,002 1	0,597	44	22,5	0,022	1088
р. Ашит	0,62	0,52	0,5	36,7	0,018	0,25	3,52	5,8	0,85	0,001	0	0	0,21	0	33	8	0	0,3	0,1	0	0,066	0	2,8	0	46,9
	1,78	5,81	93	441	0,42	17	252	15,4	74	0,304	0,003 3	0,15	11,2	0,106 2	1360	30	0	690	26,5	0,005 5	0,79	43	24,7	0,488	1543
р. Волга, 4,7 км ниже г. Казань	0,114	0,53	1,5	147	0,015	3,12	44,6	2,58	9,8	0,008	0	0	0,72	0	274	7,1	0	17,5	0,2	0	0,097	6,4	6,18	0	361
	1,48	18,2	71	452	0,333	11,5	163	14,9	55	0,72	0,002 3	0,49	9,8	0,384	980	30	0	376	29,7	0,001 5	0,664	44	20,4	0,016	1096
р. Волга, с. Кзыл Байрак	0,054	0,79	3,5	30,7	0,014	0,48	8,1	5,13	0,97	0,005 4	0	0	0,11	0	52	0	0	3,31	0	0	0,054	0	4,08	0	61
	0,98	8,6	67,8	400	0,44	17,9	262	14,7	80	0,345	0,003 3	0,062	14,5	0,137	1415	30	0,001 21	668	22,2	0,013 1	0,75	69	42	0,034	1646
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	0,083	0,51	1,5	25	0,01	0,46	6,7	4,12	1,34	0,005	0	0	0,4	0	48	3,1	0	1,6	0,1	0	0,017	0	3,33	0	65,4
	2,31	8,9	90,3	461	1,44	17,5	288	16,4	54	0,9	0,003	0,056	11,5	0,156	1358	30	0	615	22	0,037	0,89	68	37,2	0,031	1787
р. Казанка, с. Усады	0,053	0,78	1,5	24	0,01	0,5	9,2	4,74	0,49	0,007 2	0	0	0,059	0	44	7	0	3,12	0,1	0	0,053	0	3,51	0	77
	0,63	21,7	116	461	1,07	13,8	244	17,4	51	0,77	0,013	0,12	15,6	0,184	1440	47	0	650	24,3	0,005 8	0,491	78	39	0,029	1543
р. Кама, с. Сорочьи Горы	0,57	0,57	3,3	11	0,02	0,39	5,24	6,61	0,12	0,005 4	0	0	0	0	41	2	0	3,41	0	0	0,053	0	2,1	0	70,9
	0,75	4,7	76	526	0,161	15	240	14,9	38,9	0,215	0,002 3	0,19	11,7	0,15	1310	29	0	600	26,9	0,008 9	0,79	47	30,8	0,022	1484
р. Меша, с. Карадули	0,052	0,58	2,3	11	0,000 65	0,5	8,9	6,95	0,62	0,005 6	0	0	0,11	0	61	2	0	3,63	0,2	0	0,022	4,6	4,02	0	79
	0,212	19,4	391	396	0,81	40-	312	19-	51	0,348	0,003 5	0,98	19	0,358	1450	30	0,004 6	696	22,4	0,02	1,05	88-	35,4	0,066	1685
р. Меша, с. Узяк Тюлячинского м.р.	0,06	0,59	5,3	15,5	0,015	0,54	10,5	4	0,24	0,01	0	0	0,46	0	61	5	0	3,99	0,1	0	0,097	0	2,1	0	85
	1,15	8,6	608	486	1,51	22	315	14,9	106	0,304	0,002	0,208	13,6	0,594	1550	29,8	0	720	29,4	0,009 5	0,96	47	69	0,071	1683

Продолжение приложения 8

Точка отбора проб	Аммоний ион, мг/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	Железо, мг/дм ³	Жесткость, оЖ	Кальций, мг/дм ³	Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	Магний, мг/дм ³	Марганец, мг/дм ³	Мель, мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	содержание ионов (минерализация)	Прозрачность, см	Свинец, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Температура, С	Фенол, мг/дм ³	Фосфат ион, мг/дм ³	ХПК, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³	Эл/проводность, мксм/сдм
	ПДК 0,5 мг/дм ³	ПДК 2 мгО ₂ /дм ³	не нормир.	не нормир.	ПДК 0,1 мг/дм ³	не нормир.	ПДК 180,0 мг/дм ³	не менее 6 мгО ₂ /дм ³	ПДК 40 мг/дм ³	ПДК 0,01 мг/дм ³	ПДК 0,001 мг/дм ³	ПДК 0,05 мг/дм ³	ПДК - 40,0 мг/дм ³	ПДК 0,08 мг/дм ³		не нормир.	ПДК 0,006 мг/дм ³	ПДК 100,0 мг/дм ³	-	ПДК 0,001 мг/дм ³	ПДК 0,2 мг/дм ³	не нормир.	ПДК 300,0 мг/дм ³	ПДК 0,01 мг/	не нормир.
р. Свяга, мост на автодороге М 7	0,05	0,55	0,8	21	0,016	0,45	9	5,05	0,12	0,0056	0	0	0,14	0	41	9	0	3,76	0,1	0	0,042	0	4,54	0	74,4
	1,27	4,4	113	471	3,18	20,5	277	16,1	76	0,315	0,0056	0,056	13	0,184	1410	30	0,001	736	25,2	0,005	0,89	35,5	70	0,019	1583
р. Сулица	0,058	0,51	2,5	33,7	0,01	0,58	8,1	6,11	1,58	0,005	0	0	0,1	0	62	4	0	3,45	0	0	0,062	0	3,7	0	71,1
	0,85	20,7	240	463	0,216	18,3	298	21,5	46	0,291	0,0022	0,068	10,2	0,328	1484	30	0	721	24,9	0,0067	0,536	58	65,2	0,016	1566

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024616050

**Программа многоуровневой нейросетевой
классификации гидрохимических данных с нечеткими
элементами на основе экспертного оценивания**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ" (RU)*

Авторы: *Новикова Светлана Владимировна (RU), Тунакова
Юлия Алексеевна (RU), Валиев Всеволод Сергеевич (RU),
Байбакова Евгения Васильевна (RU)*

Заявка № 2024614801

Дата поступления 12 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 15 марта 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 429b6a01b3461164ba196183b73b4aa7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 19.07.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

Кластерное распределение исследуемых водных объектов по точкам отбора

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Кама, с. Сорочьи Горы	30.07.2014	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	15.08.2014	0
р. Казанка, с. Усады	15.08.2014	0
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	19.08.2014	0
р. Сулица, с. Савино	22.08.2014	0
р. Волга, выше г. Зеленодольск	28.08.2014	0
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	28.08.2014	0
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	28.08.2014	0
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	28.08.2014	0
р. Кама, с. Сорочьи Горы	28.08.2014	0
р. Меша, с. Узяк	28.08.2014	0
р. Меша, с. Карадули	28.08.2014	0
р. Меша, с. Карадули	27.07.2015	0
р. Меша, с. Узяк	10.08.2015	0
р. Кама, с. Сорочьи Горы	12.08.2015	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	12.08.2015	0
р. Казанка, с. Усады	12.08.2015	0
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	12.08.2015	0
р. Сулица, с. Савино	17.08.2015	0
р. Свяга, мост на автодороге М-7	17.08.2015	0
р. Волга, выше г. Зеленодольск	18.08.2015	0
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	18.08.2015	0
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	18.08.2015	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	27.07.2016	0
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	03.08.2016	0
р. Кама, с. Сорочьи Горы	03.08.2016	0
р. Меша, с. Узяк	03.08.2016	0
р. Меша, с. Карадули	03.08.2016	0
р. Казанка, с. Усады	03.08.2016	0
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	03.08.2016	0
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	08.08.2016	0
р. Сулица, с. Савино	08.08.2016	0
р. Свяга, мост на автодороге М-7	08.08.2016	0
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	17.08.2016	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	17.08.2016	0
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	22.08.2016	0
р. Казанка, с. Усады	23.08.2016	0
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	23.08.2016	0
р. Кама, с. Сорочьи Горы	31.08.2016	0
р. Меша, с. Узяк	31.08.2016	0
р. Свяга, мост на автодороге М-7	31.08.2016	0
р. Меша, с. Карадули	20.08.2019	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	17.09.2019	0
р. Сулица, с. Савино	17.02.2020	0
р. Ашит, с. Алан-Бексер	22.09.2020	0

Продолжение приложения 10

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Ашит, с. Алан-Бексер	20.10.2020	0
р. Сулица, с. Савино	19.01.2021	0
р. Меша, с. Узяк	08.07.2014	1
р. Сулица, с. Савино	15.07.2014	1
р. Свяга, мост на автодороге М-7	15.07.2014	1
р. Ашит, с. Алан-Бексер	15.07.2014	1
р. Казанка, с. Усады	15.07.2014	1
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	15.07.2014	1
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	18.07.2014	1
р. Меша, с. Карадули	22.07.2014	1
р. Меша, с. Узяк	06.07.2015	1
р. Меша, с. Карадули	06.07.2015	1
р. Кама, с. Сорочьи Горы	09.07.2015	1
р. Сулица, с. Савино	09.07.2015	1
р. Свяга, мост на автодороге М-7	09.07.2015	1
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	14.07.2015	1
р. Ашит, с. Алан-Бексер	20.07.2015	1
р. Казанка, с. Усады	20.07.2015	1
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	20.07.2015	1
р. Меша, с. Узяк	22.07.2015	1
р. Казанка, с. Усады	06.07.2016	1
р. Меша, с. Карадули	09.07.2016	1
р. Меша, с. Узяк	11.07.2016	1
р. Меша, с. Узяк	12.07.2016	1
р. Свяга, мост на автодороге М-7	12.07.2016	1
р. Сулица, с. Савино	20.07.2016	1
р. Сулица, с. Савино	14.10.2019	1
р. Свяга, мост на автодороге М-7	14.10.2019	1
р. Сулица, с. Савино	04.06.2021	1
р. Сулица, с. Савино	08.06.2021	1
р. Кама, с. Сорочьи Горы	24.06.2014	2
р. Меша, с. Узяк	24.06.2014	2
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	01.07.2014	2
р. Сулица, с. Савино	01.07.2014	2
р. Ашит, с. Алан-Бексер	01.07.2014	2
р. Свяга, мост на автодороге М-7	01.07.2014	2
р. Казанка, с. Усады	01.07.2014	2
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	01.07.2014	2
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	25.06.2015	2
р. Ашит, с. Алан-Бексер	29.06.2015	2
р. Казанка, с. Усады	29.06.2015	2
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	29.06.2015	2
р. Волга, выше г. Зеленодольск	22.06.2016	2
р. Ашит, с. Алан-Бексер	29.06.2016	2
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	29.06.2016	2
р. Кама, с. Сорочьи Горы	06.07.2016	2

Продолжение приложения 10

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Сулица, с. Савино	12.07.2021	2
р. Сулица, с. Савино	02.09.2014	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	02.09.2014	3
р. Кама, с. Сорочьи Горы	08.09.2014	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	08.09.2014	3
р. Меша, с. Узьяк	10.09.2014	3
р. Меша, с. Карадули	16.09.2014	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	22.09.2014	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	29.09.2014	3
р. Казанка, с. Усады	01.10.2014	3
р. Волга, выше г. Зеленодольск	06.10.2014	3
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	06.10.2014	3
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	06.10.2014	3
р. Меша, с. Узьяк	15.10.2014	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	15.10.2014	3
р. Казанка, с. Усады	15.10.2014	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	15.10.2014	3
р. Меша, с. Карадули	20.10.2014	3
р. Сулица, с. Савино	27.10.2014	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	27.10.2014	3
р. Казанка, с. Усады	17.11.2014	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	17.11.2014	3
р. Меша, с. Карадули	18.11.2014	3
р. Сулица, с. Савино	19.11.2014	3
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	09.09.2015	3
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	09.09.2015	3
р. Волга, выше г. Зеленодольск	09.09.2015	3
р. Сулица, с. Савино	14.09.2015	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	14.09.2015	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	14.09.2015	3
р. Казанка, с. Усады	14.09.2015	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	14.09.2015	3
р. Кама, с. Сорочьи Горы	22.09.2015	3
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	24.09.2015	3
р. Меша, с. Карадули	28.09.2015	3
р. Меша, с. Узьяк	28.09.2015	3
р. Кама, с. Сорочьи Горы	12.10.2015	3
р. Сулица, с. Савино	12.10.2015	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	12.10.2015	3
р. Меша, с. Узьяк	13.10.2015	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	19.10.2015	3
р. Казанка, с. Усады	19.10.2015	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	19.10.2015	3
р. Волга, выше г. Зеленодольск	26.10.2015	3
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	26.10.2015	3
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	26.10.2015	3

Продолжение приложения 10

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	26.10.2015	3
р. Меша, с. Карадули	02.11.2015	3
р. Меша, с. Узяк	10.11.2015	3
р. Кама, с. Сорочьи Горы	16.11.2015	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	16.11.2015	3
р. Казанка, с. Усады	16.11.2015	3
р. Сулица, с. Савино	17.11.2015	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	17.11.2015	3
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	05.09.2016	3
р. Сулица, с. Савино	05.09.2016	3
р. Волга, выше г. Зеленодольск	13.09.2016	3
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	13.09.2016	3
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	13.09.2016	3
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	13.09.2016	3
р. Волга, выше г. Зеленодольск	19.09.2016	3
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	28.09.2016	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	28.09.2016	3
р. Меша, с. Карадули	05.10.2016	3
р. Казанка, с. Усады	05.10.2016	3
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	05.10.2016	3
р. Меша, с. Карадули	11.10.2016	3
р. Сулица, с. Савино	17.10.2016	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	17.10.2016	3
р. Казанка, с. Усады	02.04.2019	3
р. Казанка, с. Усады	24.06.2019	3
р. Меша, с. Карадули	24.06.2019	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	15.07.2019	3
р. Меша, с. Карадули	22.07.2019	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	19.08.2019	3
р. Казанка, с. Усады	26.08.2019	3
р. Казанка, с. Усады	19.09.2019	3
р. Меша, с. Карадули	21.01.2020	3
р. Казанка, с. Усады	04.02.2020	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	17.02.2020	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	19.10.2020	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	19.01.2021	3
р. Казанка, с. Усады	15.06.2021	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	15.06.2021	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	06.07.2021	3
р. Свяга, мост на автодороге М-7	12.07.2021	3
р. Ашит, с. Алан-Бексер	28.12.2021	3
р. Кама, с. Сорочьи Горы	24.11.2014	4
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	24.11.2014	4
р. Свяга, мост на автодороге М-7	26.11.2014	4
р. Казанка, с. Усады	09.12.2014	4
р. Ашит, с. Алан-Бексер	09.12.2014	4

Продолжение приложения 10

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	09.12.2014	4
р. Кама, с. Сорочьи Горы	10.12.2014	4
р. Меша, с. Карадули	10.12.2014	4
р. Сулица, с. Савино	15.12.2014	4
р. Свяга, мост на автодороге М-7	15.12.2014	4
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	16.12.2014	4
р. Меша, с. Узяк	22.12.2014	4
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	24.11.2015	4
р. Меша, с. Карадули	25.11.2015	4
р. Кама, с. Сорочьи Горы	07.12.2015	4
р. Сулица, с. Савино	07.12.2015	4
р. Свяга, мост на автодороге М-7	07.12.2015	4
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	08.12.2015	4
р. Ашит, с. Алан-Бексер	14.12.2015	4
р. Казанка, с. Усады	14.12.2015	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	14.12.2015	4
р. Меша, с. Узяк	21.12.2015	4
р. Меша, с. Карадули	22.12.2015	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	28.05.2019	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	25.06.2019	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	23.07.2019	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	26.08.2019	4
р. Меша, с. Карадули	14.12.2020	4
р. Казанка, с. Усады	15.12.2020	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	15.12.2020	4
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	15.06.2021	4
р. Сулица, с. Савино	03.02.2014	5
р. Меша, с. Узяк	03.02.2014	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	03.02.2014	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	03.02.2014	5
р. Казанка, с. Усады	03.02.2014	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	28.02.2014	5
р. Меша, с. Узяк	04.03.2014	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	04.03.2014	5
р. Казанка, с. Усады	04.03.2014	5
р. Сулица, с. Савино	21.03.2014	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	21.03.2014	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	21.03.2014	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	21.03.2014	5
р. Казанка, с. Усады	21.03.2014	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	21.03.2014	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	26.03.2014	5
р. Меша, с. Узяк	26.03.2014	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	04.04.2014	5
р. Меша, с. Карадули	04.04.2014	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	15.04.2014	5

Продолжение приложения 10

Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Кама, с. Сорочьи Горы	15.04.2014	5
р. Сулица, с. Савино	15.04.2014	5
р. Меша, с. Карадули	15.04.2014	5
р. Меша, с. Узьяк	16.04.2014	5
р. Казанка, с. Усады	23.04.2014	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	23.04.2014	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	23.04.2014	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	23.05.2014	5
р. Сулица, с. Савино	27.05.2014	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	27.05.2014	5
р. Меша, с. Узьяк	29.05.2014	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	29.05.2014	5
р. Казанка, с. Усады	29.05.2014	5
р. Волга, выше г. Зеленодольск	04.06.2014	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	04.06.2014	5
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	04.06.2014	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	04.06.2014	5
р. Меша, с. Карадули	04.06.2014	5
р. Меша, с. Карадули	18.06.2014	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	26.01.2015	5
р. Меша, с. Карадули	28.01.2015	5
р. Казанка, с. Усады	02.02.2015	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	02.02.2015	5
р. Сулица, с. Савино	16.02.2015	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	16.02.2015	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	24.02.2015	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	25.02.2015	5
р. Меша, с. Карадули	25.02.2015	5
р. Меша, с. Узьяк	02.03.2015	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	02.03.2015	5
р. Казанка, с. Усады	02.03.2015	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	02.03.2015	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	09.03.2015	5
р. Меша, с. Карадули	10.03.2015	5
р. Сулица, с. Савино	23.03.2015	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	23.03.2015	5
р. Меша, с. Узьяк	24.03.2015	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	30.03.2015	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	01.04.2015	5
р. Казанка, с. Усады	01.04.2015	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	01.04.2015	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	06.04.2015	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	13.04.2015	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	13.04.2015	5
р. Сулица, с. Савино	13.04.2015	5
р. Меша, с. Карадули	15.04.2015	5

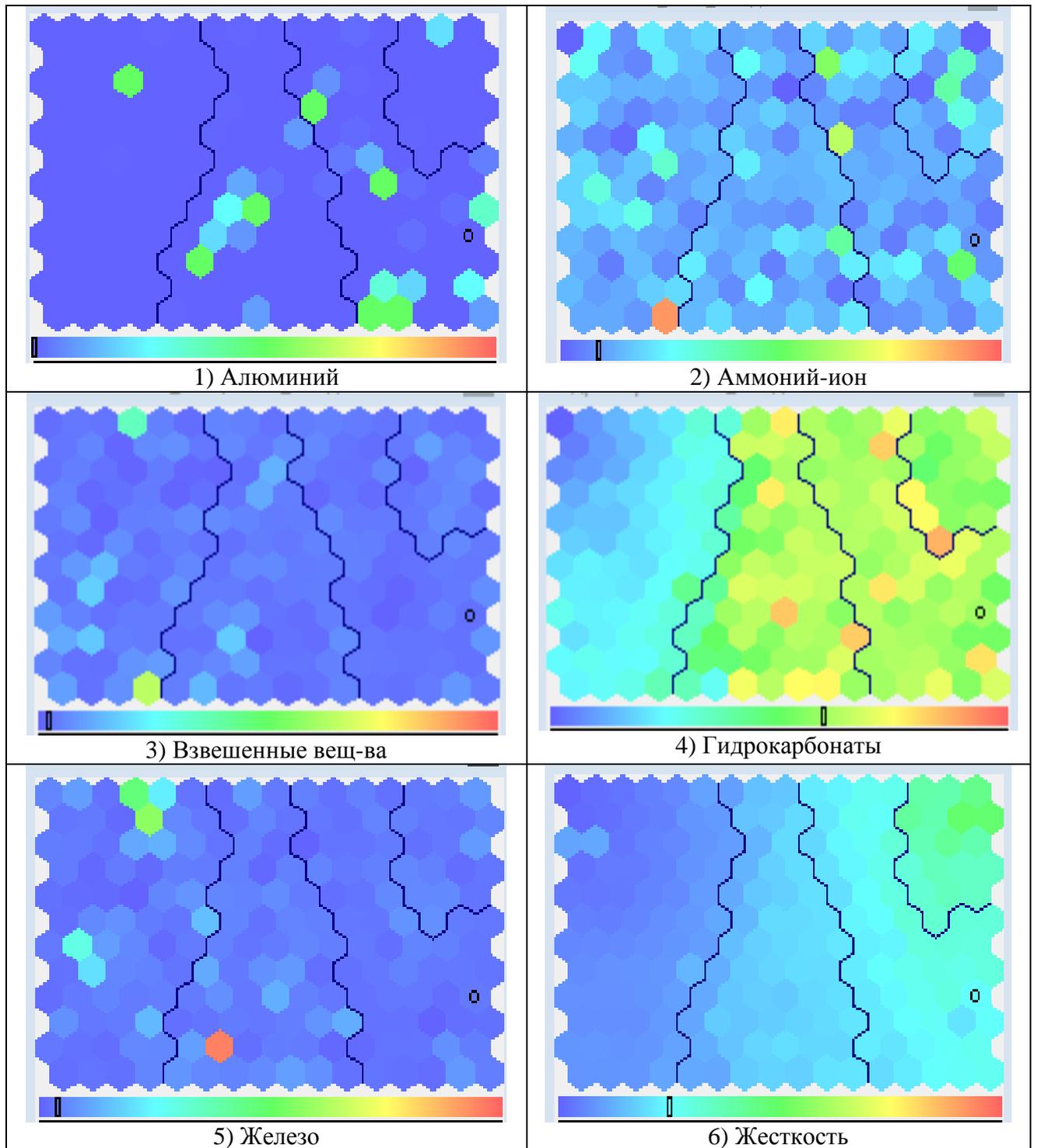
Продолжение приложения 10

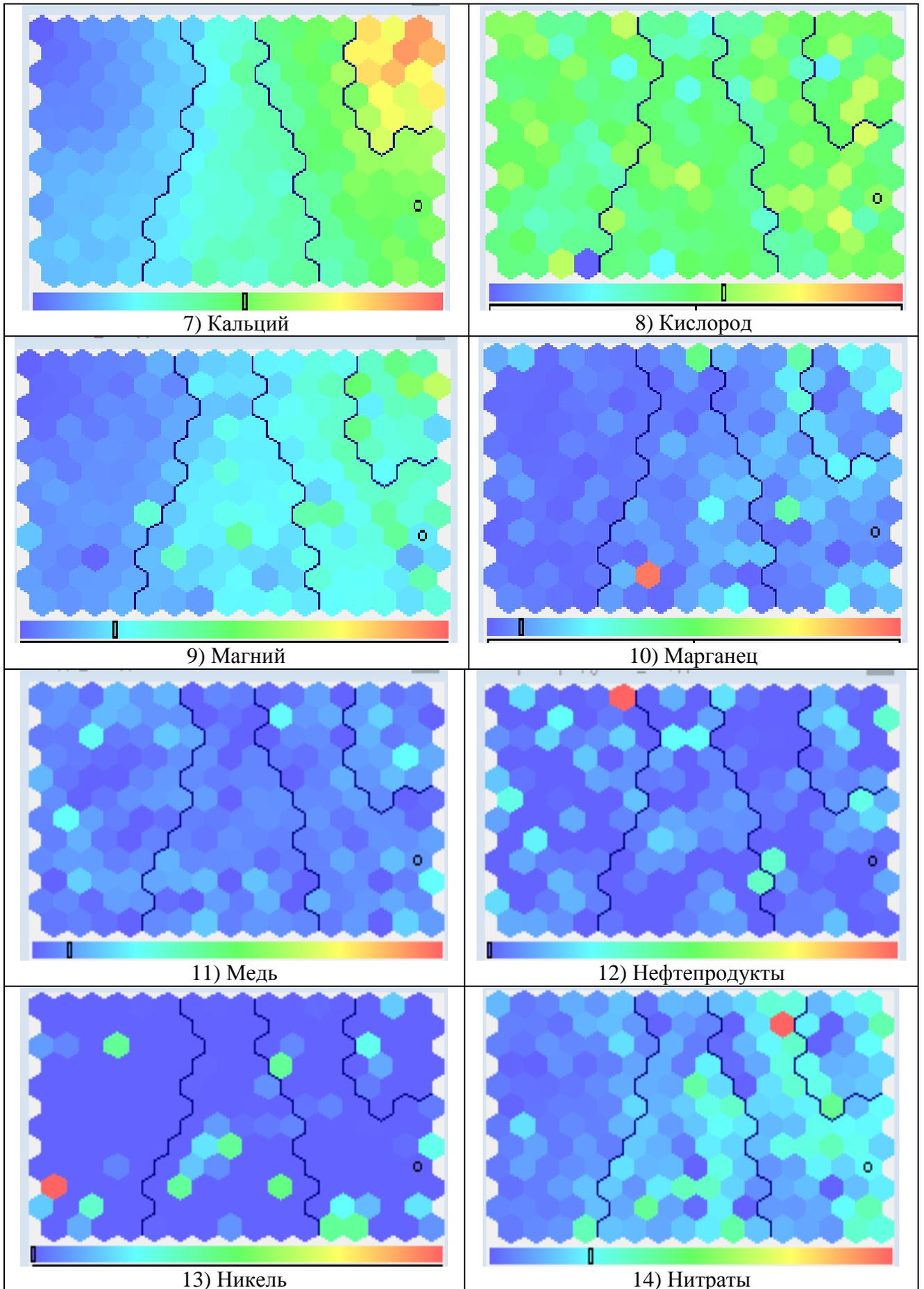
Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Казанка, с. Усады	20.04.2015	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	20.04.2015	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	20.04.2015	5
р. Меша, с. Узяк	28.04.2015	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	12.05.2015	5
р. Меша, с. Узяк	12.05.2015	5
р. Сулица, с. Савино	19.05.2015	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	19.05.2015	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	20.05.2015	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	25.05.2015	5
р. Меша, с. Карадули	01.06.2015	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	20.01.2016	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	20.01.2016	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	26.01.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	27.01.2016	5
р. Сулица, с. Савино	27.01.2016	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	27.01.2016	5
р. Казанка, с. Усады	27.01.2016	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	08.02.2016	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	08.02.2016	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	08.02.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	09.02.2016	5
р. Казанка, с. Усады	09.02.2016	5
р. Меша, с. Узяк	15.02.2016	5
р. Меша, с. Карадули	15.02.2016	5
р. Меша, с. Карадули	15.02.2016	5
р. Сулица, с. Савино	22.02.2016	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	22.02.2016	5
р. Меша, с. Узяк	21.03.2016	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	21.03.2016	5
р. Меша, с. Карадули	21.03.2016	5
р. Сулица, с. Савино	28.03.2016	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	04.04.2016	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	05.04.2016	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	11.04.2016	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	11.04.2016	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	12.04.2016	5
р. Казанка, с. Усады	18.04.2016	5
р. Меша, с. Карадули	18.04.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	18.04.2016	5
р. Меша, с. Узяк	18.04.2016	5
р. Казанка, с. Усады	18.04.2016	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	26.04.2016	5
р. Сулица, с. Савино	26.04.2016	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	26.04.2016	5
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	02.05.2016	5

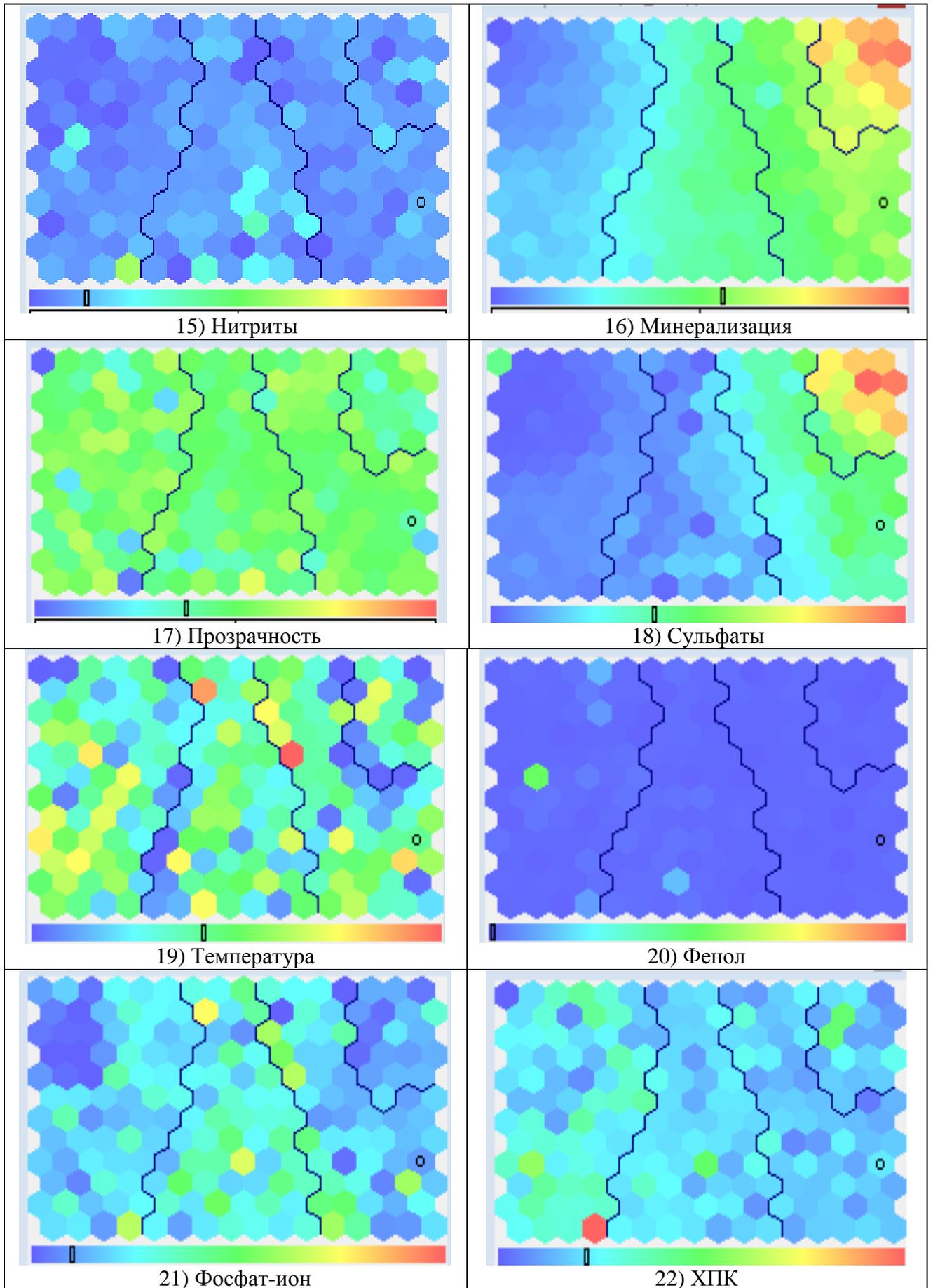
Продолжение приложения 10

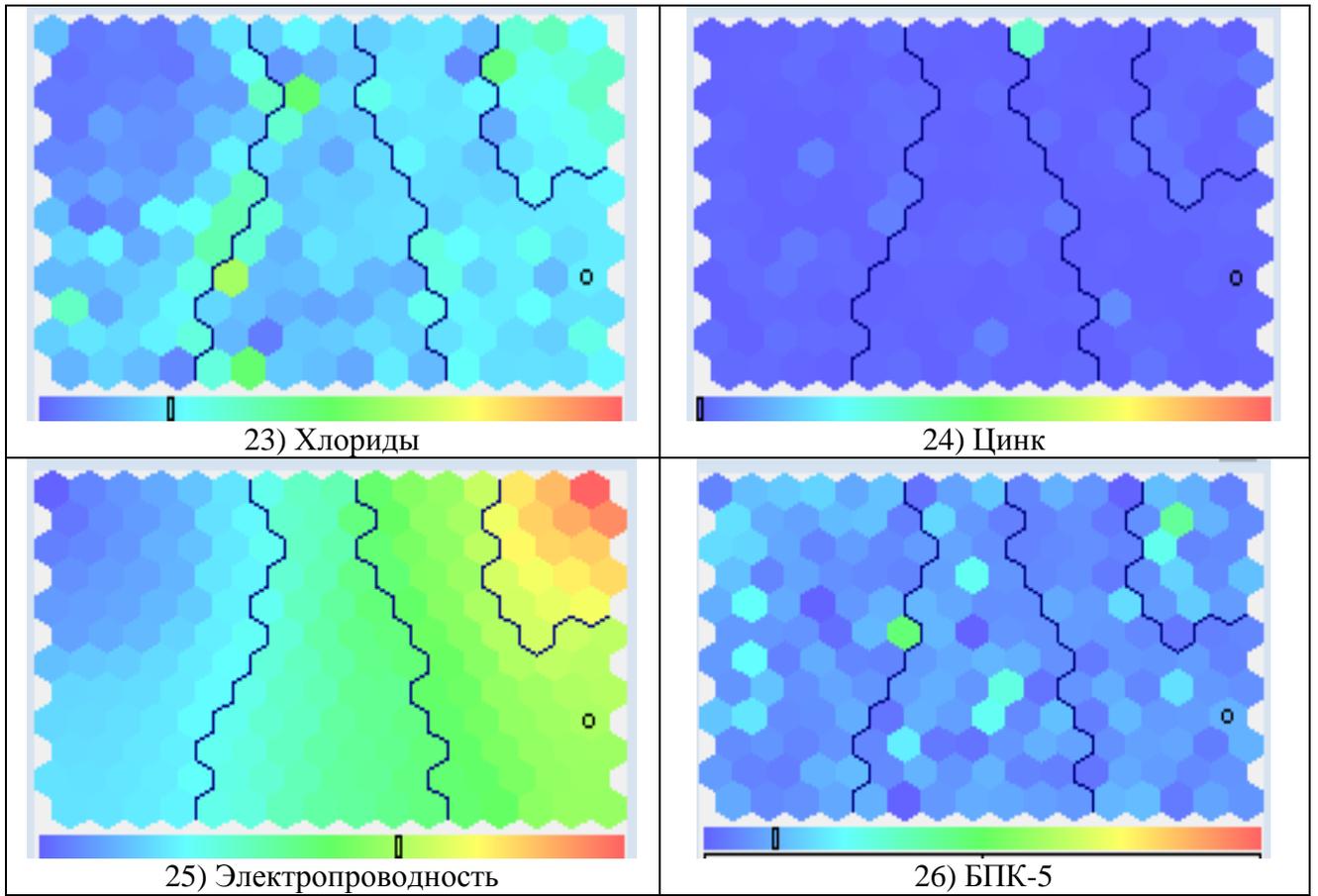
Точка отбора проб	Дата анализа	кластер
р. Волга, выше г. Зеленодольск	10.05.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	16.05.2016	5
р. Меша, с. Узяк	16.05.2016	5
р. Сулица, с. Савино	17.05.2016	5
р. Свяга мост на автодороге М-7	17.05.2016	5
р. Ашит, с. Алан-Бексер	25.05.2016	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	30.05.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	30.05.2016	5
р. Казанка, с. Усады	30.05.2016	5
р. Казанка, 3-я транспортная дамба	30.05.2016	5
р. Кама, с. Сорочьи Горы	31.05.2016	5
р. Меша, с. Карадули	31.05.2016	5
р. Меша, с. Узяк	07.06.2016	5
р. Меша, с. Узяк	13.06.2016	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	20.06.2016	5
р. Сулица, с. Савино	20.06.2016	5
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	22.06.2016	5
р. Волга, выше г. Зеленодольск	02.07.2019	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	02.07.2019	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	22.07.2019	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	22.07.2019	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	17.09.2019	5
р. Волга, выше г. Зеленодольск	02.10.2019	5
р. Волга с. Кзыл-Байрак	14.10.2019	5
р. Свяга, мост на автодороге М-7	23.03.2020	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	23.07.2020	5
р. Волга, выше г. Зеленодольск	13.10.2020	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	13.10.2020	5
р. Волга, 4.7 км ниже г. Казань	13.10.2020	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	07.12.2020	5
р. Волга, с. Кзыл-Байрак	18.01.2021	5
р. Волга, г. Казань 1 км выше водозабора	04.06.2021	5

Графические SOM-карты, отражающие распределение содержания исследуемых показателей в природных водах









Полный спектр оценочных показателей расчета УКИЗВ по ПДК_{р/х} для выделенных классов поверхностных вод

Класс воды I					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний, ион, мг/дм ³	25,5	1,5	2,8	1,5	4,3
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	40,4	2,6	3,5	2,1	7,3
Железо, мг/дм ³	27,7	1,8	2,9	1,8	5,3
Кислород, раствор_мгО ₂ /дм ³	6,4	1,6	1,6	1,6	2,6
Марганец, мг/дм ³	91,5	12,6	4	3,1	12,3
Медь, мг/дм ³	34	1,8	3,2	1,8	5,8
Нефтепродукты, мг/дм ³	6,4	2,2	1,6	2	3,2
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	46,8	2,1	3,8	2	7,7
Сульфаты, мг/дм ³	74,5	1,4	4	1,4	5,6
Фенол, мг/дм ³	72,3	2	4	2	8
ХПК, мг/дм ³	14,9	1,3	2,2	1,3	3
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	8,5	3,2	1,8	2,1	3,9
Фосфат, ион_мг/дм ³	61,7	2	4	2	7,9
S_{комб.}					76,9
S_{уд.}					4,8
K_{ср}					31,9
Класс воды II					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний ион, мг/дм ³	17,9	1,1	2,4	1,1	2,7
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	42,9	1,7	3,6	1,7	6,3
Железо, мг/дм ³	14,3	1,5	2,2	1,5	3,3
Кислород раствор, мгО ₂ /дм ³	11,1	1,2	2,1	1,2	2,4
Марганец, мг/дм ³	89,3	7,8	4	2,7	10,9
Медь, мг/дм ³	28,6	2,3	2,9	2	6
Нефтепродукты, мг/дм ³	17,9	2	2,4	2	4,7
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	21,4	1,7	2,6	1,7	4,3
Сульфаты, мг/дм ³	35,7	1,2	3,3	1,2	4
Фенол, мг/дм ³	78,6	4	4	2,2	9
ХПК, мг/дм ³	3,6	1,9	1,3	1,9	2,5
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	7,1	1,3	1,7	1,3	2,1
Фосфат –ион, мг/дм ³	71,4	2	4	2	8
S_{комб}					66,1

S_{уд}					4,1
K_{ср}					27,5
Класс воды III					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	23,5	1,2	2,7	1,2	3,3
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	35,3	2,2	3,3	2	6,6
Железо, мг/дм ³	17,6	6,5	2,4	2,6	6,1
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	0	0	0	0	0
Марганец, мг/дм ³	100	10,4	4	3	12
Медь, мг/дм ³	35,3	1,5	3,3	1,5	5
Нефтепродукты_мг/дм ³	0	0	0	0	0
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	23,5	1,4	2,7	1,4	3,8
Сульфаты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Фенол, мг/дм ³	64,7	2,8	4	2,1	8,4
ХПК, мг/дм ³	5,9	1,5	1,5	1,5	2,3
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	5,9	1,2	1,5	1,2	1,8
Фосфат-ион, мг/дм ³	58,8	2	4	2	8
S комбин					57,4
S удельн					3,6
K среднее					23,2
Класс воды IV					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний ион, мг/дм ³	14	1,8	2,2	1,8	3,9
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	32,6	1,5	3,1	1,5	4,8
Железо, мг/дм ³	5,8	2,3	1,5	2	3,1
Кислород раствор. мгО ₂ /дм ³	2,3	1,1	1,1	1,1	1,3
Марганец, мг/дм ³	91,9	11,9	4	3	12,2
Медь, мг/дм ³	34,9	1,8	3,2	1,8	6
Нефтепродукты, мг/дм ³	5,8	2,4	1,5	2	3,1
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	16,3	1,2	2,3	1,2	2,7
Сульфаты, мг/дм ³	100	2,7	4	2,1	8,3
Фенол, мг/дм ³	64	1,9	4	1,9	7,6
ХПК, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	11,6	6,4	2,1	2,5	5,3
Фосфат ион мг/дм ³	46,5	2	3,8	2	7,6
S комб					65,9
S_{уд}					4,1
K ср					26,6
Класс воды V					

Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	29	1,5	3	1,5	4,6
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	45,2	2,3	3,8	2	7,6
Железо, мг/дм ³	22,6	1,3	2,6	1,3	3,3
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	0	0	0	0	0
Марганец, мг/дм ³	96,8	14,5	4	3,1	12,5
Медь, мг/дм ³	45,2	2	3,8	2	7,5
Нефтепродукты, мг/дм ³	6,5	2,7	1,6	2,1	3,3
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	32,3	1,3	3,1	1,3	4,1
Сульфаты, мг/дм ³	100	5,5	4	2,4	9,7
Фенол, мг/дм ³	48,4	1,9	3,9	1,9	7,3
ХПК, мг/дм ³	6,5	1,8	1,6	1,8	2,9
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	25,8	2,7	2,8	2,1	5,8
Фосфат-ион, мг/дм ³	16,1	2	2,3	2	4,6
S_{комб}					73,4
S_{уд}					4,6
K_{ср}					29,8
Класс воды VI					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	16	1,8	2,3	1,8	4,1
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	42,4	2,4	3,6	2	7,4
Железо, мг/дм ³	18,8	5,1	2,4	2,4	5,8
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	3,5	1,1	1,3	1,1	1,5
Марганец, мг/дм ³	67,4	4,5	4	2,3	9,2
Медь, мг/дм ³	36,1	2	3,3	2	6,5
Нефтепродукты, мг/дм ³	9,7	1,9	2	1,9	3,7
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	15,3	1,6	2,3	1,6	3,7
Сульфаты, мг/дм ³	0,7	3,2	0	2,2	0
Фенол, мг/дм ³	69,4	4	4	2,3	9
ХПК, мг/дм ³	27,8	1,4	2,9	1,4	3,9
Хлориды, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Цинк, мг/дм ³	13,2	2,3	2,2	2	4,4
Фосфат-ион, мг/дм ³	36,1	1,7	3,3	1,7	5,5
S_{комб}					64,6
S_{уд}					4
K_{ср}					22,3

**Полный спектр оценочных показателей расчета УКИЗВ с учетом пороговых значений для
выделенных классов поверхностных вод**

Класс воды I					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	25,5	1,5	2,8	1,5	4,3
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	40,4	2,6	3,5	2,1	7,3
Железо, мг/дм ³	27,7	1,8	2,9	1,8	5,3
Кислород раствор. мгО ₂ /дм ³	6,4	1,6	1,6	1,6	2,6
Марганец, мг/дм ³	23,4	1,5	2,7	1,5	4
Медь, мг/дм ³	34	1,8	3,2	1,8	5,8
Нефтепродукты, мг/дм ³	6,4	2,2	1,6	2	3,2
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	23,4	1,3	2,7	1,3	3,4
Нитриты, мг/дм ³	46,8	2,1	3,8	2	7,7
Сульфаты, мг/дм ³	23,4	1,1	2,7	1,1	2,9
Фенол, мг/дм ³	72,3	2	4	2	8
ХПК, мг/дм ³	21,3	1,6	2,6	1,6	4
Хлориды, мг/дм ³	23,4	1,2	2,7	1,2	3,3
Цинк, мг/дм ³	8,5	3,2	1,8	2,1	3,9
Фосфат-ион, мг/дм ³	61,7	2	4	2	7,9
S_{комб}					73,7
S_{уд}					4,6
K_{ср}					27,8
Класс воды II					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	17,9	1,1	2,4	1,1	2,7
БПК ₅ мгО ₂ /дм ³	42,9	1,7	3,6	1,7	6,3
Железо, мг/дм ³	14,3	1,5	2,2	1,5	3,3
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	11,1	1,2	2,1	1,2	2,4
Марганец, мг/дм ³	25	3,1	2,8	2,1	5,9
Медь, мг/дм ³	28,6	2,3	2,9	2	6
Нефтепродукты, мг/дм ³	17,9	2	2,4	2	4,7
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	25	1,5	2,8	1,5	4,2
Нитриты, мг/дм ³	21,4	1,7	2,6	1,7	4,3
Сульфаты, мг/дм ³	25	1,2	2,8	1,2	3,3
Фенол, мг/дм ³	78,6	4	4	2,2	9
ХПК, мг/дм ³	25	1,4	2,8	1,4	3,8
Хлориды, мг/дм ³	25	2	2,8	2	5,5
Цинк, мг/дм ³	7,1	1,3	1,7	1,3	2,1
Фосфат-ион, мг/дм ³	71,4	2	4	2	8
S_{комб}					71,4

S_{уд}					4,5
K_{ср}					27,2
Класс воды III					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	23,5	1,2	2,7	1,2	3,3
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	35,3	2,2	3,3	2	6,6
Железо, мг/дм ³	17,6	6,5	2,4	2,6	6,1
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	0	0	0	0	0
Марганец, мг/дм ³	23,5	5,1	2,7	2,4	6,4
Медь, мг/дм ³	35,3	1,5	3,3	1,5	5
Нефтепродукты, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	29,4	1,3	3	1,3	3,9
Нитриты, мг/дм ³	23,5	1,4	2,7	1,4	3,8
Сульфаты, мг/дм ³	23,5	1,1	2,7	1,1	2,8
Фенол, мг/дм ³	64,7	2,8	4	2,1	8,4
ХПК, мг/дм ³	23,5	1,3	2,7	1,3	3,5
Хлориды, мг/дм ³	23,5	2,2	2,7	2	5,4
Цинк, мг/дм ³	5,9	1,2	1,5	1,2	1,8
Фосфат-ион, мг/дм ³	58,8	2	4	2	8
S_{комб}					65,1
S_{уд}					4,1
K_{ср}					24,3
Класс воды IV					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний ион, мг/дм ³	14	1,8	2,2	1,8	3,9
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	32,6	1,5	3,1	1,5	4,8
Железо, мг/дм ³	5,8	2,3	1,5	2	3,1
Кислород, раствор., мгО ₂ /дм ³	2,3	1,1	1,1	1,1	1,3
Марганец, мг/дм ³	24,4	2,1	2,7	2	5,5
Медь, мг/дм ³	34,9	1,8	3,2	1,8	6
Нефтепродукты, мг/дм ³	5,8	2,4	1,5	2	3,1
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	24,4	1,3	2,7	1,3	3,5
Нитриты, мг/дм ³	16,3	1,2	2,3	1,2	2,7
Сульфаты, мг/дм ³	24,4	1,1	2,7	1,1	3,1
Фенол, мг/дм ³	64	1,9	4	1,9	7,6
ХПК, мг/дм ³	24,4	1,2	2,7	1,2	3,4
Хлориды, мг/дм ³	24,4	1,1	2,7	1,1	3,1
Цинк, мг/дм ³	11,6	6,4	2,1	2,5	5,3
Фосфат-ион, мг/дм ³	46,5	2	3,8	2	7,6
S_{комб}					63,9
S_{уд}					4
K_{ср}					22,2
Класс воды V					

Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	29	1,5	3	1,5	4,6
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	45,2	2,3	3,8	2	7,6
Железо, мг/дм ³	22,6	1,3	2,6	1,3	3,3
Кислород раствор. мгО ₂ /дм ³	0	0	0	0	0
Марганец, мг/дм ³	22,6	1,6	2,6	1,6	4,1
Медь, мг/дм ³	45,2	2	3,8	2	7,5
Нефтепродукты, мг/дм ³	6,5	2,7	1,6	2,1	3,3
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	22,6	1,3	2,6	1,3	3,5
Нитриты, мг/дм ³	32,3	1,3	3,1	1,3	4,1
Сульфаты, мг/дм ³	22,6	1,1	2,6	1,1	2,8
Фенол, мг/дм ³	48,4	1,9	3,9	1,9	7,3
ХПК, мг/дм ³	22,6	1,4	2,6	1,4	3,8
Хлориды, мг/дм ³	22,6	1,3	2,6	1,3	3,3
Цинк, мг/дм ³	25,8	2,7	2,8	2,1	5,8
Фосфат-ион, мг/дм ³	16,1	2	2,3	2	4,6
S_{комб}					65,8
S_{уд}					4,1
K_{ср}					24,1
Класс воды VI					
Показатели	α	β	S_{α}	S_{β}	$S_{\text{обобщ}}$
Аммоний-ион, мг/дм ³	16	1,8	2,3	1,8	4,1
БПК ₅ мгО ₂ /дм ³	42,4	2,4	3,6	2	7,4
Железо, мг/дм ³	18,8	5,1	2,4	2,4	5,8
Кислород раствор., мгО ₂ /дм ³	3,5	1,1	1,3	1,1	1,5
Марганец, мг/дм ³	24,3	3,1	2,7	2,1	5,8
Медь, мг/дм ³	36,1	2	3,3	2	6,5
Нефтепродукты, мг/дм ³	9,7	1,9	2	1,9	3,7
Никель, мг/дм ³	0	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	25	1,9	2,8	1,9	5,1
Нитриты, мг/дм ³	15,3	1,6	2,3	1,6	3,7
Сульфаты, мг/дм ³	23,6	1,3	2,7	1,3	3,4
Фенол, мг/дм ³	69,4	4	4	2,3	9
ХПК, мг/дм ³	25	1,4	2,8	1,4	3,7
Хлориды, мг/дм ³	24,3	1,6	2,7	1,6	4,5
Цинк, мг/дм ³	13,2	2,3	2,2	2	4,4
Фосфат-ион, мг/дм ³	36,1	1,7	3,3	1,7	5,5
S_{комб}					74
S_{уд}					4,6
K_{ср}					23,9

Справка о диссертационной работе

МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ
И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Павлюхина ул., 75, г. Казань, 420049



ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ЭКОЛОГИЯ ҺӘМ ТАБИГАТЪ
РЕСУРСЛАРЫ МИНИСТРЛЫҒЫ

Павлюхин ур., 75, Казан шәһәре, 420049

Тел.: (843) 267-68-01, факс: (843) 267-68-70, e-mail: eco@tatar.ru, http://eco.tatarstan.ru

09.07.2024 № 12351/06

На № _____

О диссертационной работе

Байбаковой Евгении Васильевны на тему:

**«ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕГИОНАЛЬНОМУ
НОРМИРОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ ВОД В УРБООКОСИСТЕМЕ»**

Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан предоставило данные натурных наблюдений за водными объектами Республики Татарстан для научного исследования, проводимого аспирантом кафедры Общей химии и экологии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева Е.В. Байбаковой (исх. от 28.07.2022 №9308/06). Результаты работы Е.В. Байбаковой «ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕГИОНАЛЬНОМУ НОРМИРОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ ВОД В УРБООКОСИСТЕМЕ» переданы в Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан для использования в рамках работ по корректировке подготовленной в 2013 году «Территориальной программы государственного мониторинга поверхностных водных объектов Республики Татарстан».

Результаты исследования, включают:

- классификацию поверхностных вод Волжско-Камского бассейна в пределах Республики Татарстан по совокупности гидрохимических показателей, классифицирующие показатели и их пороговые значения;
- результаты расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод (УКИЗВ) на основе предлагаемых региональных пороговых концентраций.

Заместитель министра



О.В. Манидичева

Акт о внедрении результатов диссертационной работы

Утверждаю
Проректор по образовательной деятельности
КНИТУ-КАИ
Моисеев Р.Е.
« 9 » Сентября 2024 г.

**АКТ**

о внедрении результатов диссертационной работы
Байбаковой Евгении Васильевны на тему:
«ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕГИОНАЛЬНОМУ
НОРМИРОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ ВОД В УРБОЭКОСИСТЕМЕ»
в образовательный процесс КНИТУ-КАИ

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Байбаковой Е.В. внедрены в образовательный процесс КНИТУ-КАИ в части учебно-методического обеспечения дисциплин «Прикладная экология» и «Экологический мониторинг и производственный экологический контроль» для аудиторной и самостоятельной работы обучающихся (по программе бакалавриата) по направлению подготовки «Техносферная безопасность». Байбаковой Е.В. разработаны и используются в образовательном процессе следующие методики:

- классификация поверхностных вод Волжско-Камского бассейна в пределах Республики Татарстан по совокупности гидрохимических показателей;
- выделение классифицирующих показателей и их пороговых значений;
- расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности поверхностных вод (УКИЗВ) на основе региональных пороговых концентраций;
- расчет показателя для оценки гидрохимического состава питьевых вод, приготавливаемых из вод поверхностного водоисточника, как водного элемента урбоэкосистемы;

— расчет региональных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты с апробацией для предприятия химической отрасли промышленности.

По материалам диссертационной работы Байбаковой Е.В. подготовлены учебные пособия для подготовки бакалавров:

1. Тунакова, Юлия Алексеевна. Прикладная экология: учебное пособие / Ю. А. Тунакова, Р. Р. Шипилова, Е. В. Байбакова. - Казань, 2023. - 152 с.

2. Тунакова, Юлия Алексеевна. Экологический мониторинг и производственный экологический контроль : практикум / Ю. А. Тунакова, А. Р. Галимова, Е. В. Байбакова. - Казань, 2023. - 138 с.

Заведующая кафедрой ОХиЭ

Ю.А. Тунакова

Начальник Учебно-методического управления

Е.И. Загребина