ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

НОВИКОВ ДЕНИС СЕРГЕЕВИЧ

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ, СВЯЗАННОГО С ПОТРЕБЛЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АРИДНЫХ ЗОН ЗАВОЛЖЬЯ

1.5.15. Экология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, профессор
Латышевская Наталья Ивановна

Волгоград – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ……...……11
1.1. Факторы, влияющие на качество подземных вод хозяйственно-питьевого назначения……..……....…11
1.2. Риск-ориентированный подход к оценке влияния подземных вод на здоровье населения……21
1.3. Индикация засушливости территорий как инструмент социально-гигиенического мониторинга качества подземных вод…….29
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ…….39
2.1. Обоснование определения приоритетного списка анализируемых загрязнителей подземных вод……..……39
2.2. Методы оценки неканцерогенного, канцерогенного и органолептического рисков, ассоциированных с потреблением некондиционных подземных вод……42
2.3. Метеорологические и спутниковые методы как инструмент оценки качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения…… 49
2.4. Методы статистического анализа данных…….……53
ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФАКТОРОВ, ЗНАЧИМЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ……..……56
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, АССОЦИИРОВАННОГО С ПОСТУПЛЕНИЕМ ТОКСИКАНТОВ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ.....69
4.1. Оценка риска здоровью при потреблении воды централизованных систем водоснабжения…….……69
4.1.1. Оценка неканцерогенного риска здоровью при поступлении загрязнителей в организм человека из подземных вод……..…69
4.1.2. Оценка канцерогенного риска здоровью при поступлении загрязнителей в организм человека из подземных вод ….....……82

4.1.3. Оценка риска возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов у потребителей подземных вод……...…85

4.2. Оценка риска здоровью, обусловленного потреблением подземных вод из нецентрализованных источников водоснабжения……..88

4.3. Управление риском здоровью, ассоциированным с поступлением токсикантов из подземных вод аридных территорий Юга России (на примере волгоградского Заволжья)…….....….100

4.3.1. Прогнозирование многолетней динамики неканцерогенного риска……...…100

4.3.2. Прогнозирование многолетней динамики ольфакторного и канцерогенного риска…….……109

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ВОДНЫМ ФАКТОРОМ…….……114

5.1. Анализ неинфекционной заболеваемости, связанной с пероральным поступлением химических веществ из подземных вод……...……114

5.2. Анализ инфекционной заболеваемости, связанной с эколого-географическими факторами, влияющими на качество подземных вод…...126

ВЫВОДЫ…….142

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...145

ПРИЛОЖЕНИЕ А……...175

ПРИЛОЖЕНИЕ Б……178

ПРИЛОЖЕНИЕ В……181

ПРИЛОЖЕНИЕ Г……182

ПРИЛОЖЕНИЕ Д……183

ПРИЛОЖЕНИЕ Е……184

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Доступность качественной и безопасной питьевой воды имеет важнейшее значение для здоровья человека, является одним из основных его прав, определяет уровень здоровья и качества жизни нации. В связи с этим, обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из приоритетных государственных задач, поставленных перед Российской Федерацией. (Онищенко, 2013). На государственном уровне это привело к принятию Правительством Российской Федерации ряда стратегических документов. Среди них: 2010 г. – федеральная целевая программа «Чистая вода», 2017 г. – федеральный проект «Оздоровление Волги» (в рамках национального проекта «Экология») и др. В указе Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» при определении основных направлений прорывного научно-технологического и социально-экономического развития страны указанной проблеме уделяется особое внимание. В частности, отмечается, что к 2024 г. надлежит повысить качество «питьевой воды посредством модернизации систем водоснабжения с использованием перспективных технологий водоподготовки», сохранить уникальные водные объекты, включая р. Волгу [https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/]. В решениях федеральных властей отмечается также необходимость в интересах обеспечения граждан комфортными коммунальными услугами уменьшить долю загрязненных стоков и модернизацию систем водоподготовки (Прохорова, 2015).

В Волгоградской области доля проб воды централизованного водоснабжения, несоответствующих требованиям по санитарно-химическим показателям, составила 5,7% для поверхностных источников и 32,1% для подземных (при среднем значении по РФ в 13,1%). Необходимо отметить, что наиболее высокий удельный вес (>50%) подземных источников

водоснабжения, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, в среднемноголетнем разрезе (2012-2022 гг.) регистрируется в Быковском, Палласовском, Старополтавском и Николаевском районах, относящихся к особой эколого-географической зоне – аридному Заволжью. К ведущим причинам санитарного неблагополучия подземных источников водоснабжения засушливых районов Волгоградской области относятся несовершенство комплекса очистных сооружений, отсутствие зон санитарной охраны, высокая степень засоленности почв, слабая природная защита водоносных горизонтов от загрязнений, нарастание аридности и опустынивание территорий (Новикова и др., 2011; Лемешкин и др., 2023; Славко и др., 2023). Кроме того, зарегулирование стоков бассейна Нижней Волги (более 40%) приводит к изменению в составе патогенной и условно-патогенной микрофлоры. Эти изменения также способны отражаться и на микробном сообществе неглубоко залегающих подземных вод Заволжья инфильтрационного типа, что приводит к росту распространенности острых кишечных инфекций (Краснова и др., 2017; Эльпинер, 2015).

Понимание остроты проблемы, ее медико-социального значения, роли, которую она играет в укреплении популяционного здоровья населения России, обусловило появление ряда научных исследований (Данилов-Данильян В.И., Зайцева Н.В., Клейн С.В., Латышевская Н.И., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Розенталь О.М., Сергеева И.В., Спирин В.Ф., Эльпинер Л.И., Унгуряну Т.Н. и др.). Несмотря на то, что в них накоплен большой эмпирический материал и сделаны важные выводы теоретического и практического характера, в выделенной нами проблеме остаются нерешенные вопросы. Так, труднодоступность объективных данных о состоянии питьевой воды подземных источников водоснабжения в удаленных территориях Заволжья и малое число мониторинговых точек затрудняет реализацию федеральных программ и перспективное планирование мероприятий по улучшению ситуации со снабжением населения доброкачественной питьевой водой.

Цель исследования – обосновать и разработать инструментарий эколого-гигиенического мониторинга качества подземных вод аридных зон Заволжья и ассоциированных с ними рисков здоровью.

З**адачи исследования**:

1. Проанализировать факторы, влияющие на качество подземных вод аридных зон Заволжья.
2. Произвести оценку риска здоровью, ассоциированного с поступлением токсикантов из подземных вод аридного Заволжья.
3. Установить взаимосвязь между эколого-гигиеническим состоянием подземных источников водоснабжения и показателями инфекционной и неинфекционной заболеваемости.
4. Выполнить ГИС-анализ экологического состояния исследуемого региона по показателям засушливости, значимым для динамики химического состав подземных вод.
5. Разработать рекомендации по оптимизации мониторинга многолетней динамики рисков здоровью на основе надежных индикаторов аридности.

Положения, выносимые на защиту:

1. К числу приоритетных факторов, влияющих на качество подземных вод аридного Заволжья относятся: геоморфологические особенности региона, литологическая природа водовмещающих пород, тенденция к усугублению засухи, локализация мест добычи твердых полезных ископаемых, а также нарушение правил содержания зон санитарной охраны водоисточников. Устойчивый тренд к нарастанию аридности в Заволжье характеризуется высокой степенью корреляции с многолетней динамикой рисков здоровью, связанных с потреблением подземных вод.

2. Наибольший вклад в формирование риска здоровью, этиологически связанного с потреблением подземных вод в аридном Заволжье связан с поступлением хлороформа, нитратов, магния и натрия. Основные критические системы, подвергающиеся опасности: центральная нервная и

сердечно-сосудистая системы, почки, печень и кровь. Риск возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов обусловлен показателем общего железа и содержанием сульфатов

3. Результаты выполненного ГИС-анализа показывают адекватность использования спутникового индекса засушливости NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) в качестве надежного инструмента прогнозирования многолетней динамики медико-экологической ситуации в системе «дистанционное зондирование Земли – риск здоровью – неинфекционная заболеваемость» в условиях аридного Заволжья.

Научная новизна. Произведена комплексная оценка канцерогенных, неканцерогенных и ольфакторных рисков здоровью, связанных с потреблением подземных вод аридного Заволжья Волгоградской области. Определен приоритетный список загрязнителей, формирующих канцерогенную и неканцерогенную опасность, а также вызывающих негативные ольфакторно-рефлекторные реакции у населения изучаемой территории. Выявлены основные критические системы органов, подвергающиеся опасности развития неканцерогенных эффектов. Проанализирована инфекционная и неинфекционная заболеваемость населения Заволжья Волгоградской области, этиологически связанная с потреблением некондиционных подземных вод.

Экспериментально доказана взаимосвязь между многолетней динамикой засушливости аридных зон Заволжья и концентрациями токсикантов в подземных водах, формирующих риски здоровью. Впервые проанализирована валидность метеорологических и спутниковых индексов аридности в системе социально-гигиенического мониторинга качества. Доказана эффективность применения инструментов дистанционного зондирования Земли в прогнозировании рисков здоровью, связанных поступлением токсикантов их подземных вод.

Теоретическая и практическая значимость. В работе выявлены статистически надежные показатели-предикторы аридизации, обладающие

высоким потенциалом их применения в прогнозировании рисков здоровью, этиологически связанных с чувствительными к динамике засухи поллютантами подземных вод. Разработана и зарегистрирована «Нейронная сеть прогнозирования риска здоровью при пероральном поступлении токсикантов с водой в засушливых зонах юга России HealthRisk AI v 1.0» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024615590, Приложение Г), ориентированная на данные дистанционного зондирования Земли как источник информации о динамике засухи, а также база данных для ее тренировки (Свидетельство № 2024623301, Приложение Д). Полученные выводы расширяют инструментарий социально-гигиенического мониторинга качества среды обитания и здоровья населения, проживающего в аридных зонах Заволжья.

Результаты исследования внедрены в деятельность ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» по планированию противоэпидемических мероприятий и обучению лиц, подлежащих гигиенической аттестации (Приложение Е). Материалы диссертационного исследования также используются в научно-образовательном процессе Волгоградского государственного медицинского университета Минздрава России.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов исследования, основных положений и выводов базируется на обоснованности применявшейся в работе методологии, использовании методов, адекватных биологическому смыслу изучаемых показателей, большом объеме полученных данных, а также их статистической обработке. Организация и проведение диссертационного исследования одобрены локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.15. Экология (биологические науки), а именно пункту 13 «Экология человека – биологические аспекты

воздействия окружающей среды на человека (на уровне индивидуума и популяции)».

Апробация. Результаты диссертационного исследования были представлены на конференциях, форумах и конгрессах международного, а также всероссийского уровня: «Анализ риска здоровью совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE и круглым столом по безопасности питания» (Пермь, 2020), «Фундаментальная наука в современной медицине» (Минск, 2020), «Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины» (Волгоград, 2020), X Юбилейная межрегиональная научно-практическая online конференция молодых ученых и специалистов с международным участием (Саратов, 2020), «Взаимодействие науки и практики. Опыт и перспективы» (Екатеринбург, 2022), «Профилактическая медицина» (Санкт-Петербург, 2022), «Эрисмановские чтения. Новое в профилактической медицине и обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения» (Мытищи, 2023), III Междисциплинарный форум «Медицина молодая» (Москва, 2023), Международный медицинский форум «Вузовская наука. Инновации» (Москва, 2021, 2023, 2024).

Личный вклад автора. Совместно с научным руководителем сформулированы цель и задачи исследования, разработан общий дизайн диссертационной работы. Автором самостоятельно произведен обзор отечественных и иностранных источников литературы, выполнены все этапы экспериментальной работы, проведена статистическая обработка и интерпретация полученного материала.

Публикации. По результатам диссертационного исследования было опубликовано 12 печатных работ, 1 программа ЭВМ и 1 база данных. Среди них 1 статья в журнале, входящем в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science и 4 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы. Текст работы изложен на 184 страницах печатного текста, содержит 24 таблицы, 21 рисунок и 6 приложений. Список литературы включает 195 источников, в том числе 68 на иностранном языке.

Конкурсная поддержка. Исследование выполнено при поддержке фонда внутренних научно-исследовательских грантов Волгоградского государственного медицинского университета Минздрава России для молодых исследователей (приказ №1444-КО/2020).

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, заведующему кафедрой общей гигиены и экологии ВолгГМУ МЗ РФ, д.м.н., профессору Н.И. Латышевской за чуткое руководство и неоценимый вклад в профессиональное становление диссертанта. Автор также выражает благодарность О.М. Мазулину – Главному врачу Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах», Л.П. Руруа – главному специалисту-эксперту отдела надзора за условиями труда и радиационной безопасности Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области и Н.В. Аброськиной – начальнику отдела социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области за помощь в осуществлении исследования на различных стадиях.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Факторы, влияющие на качество подземных вод хозяйственно-питьевого назначения

Доброкачественная вода хозяйственно-питьевого назначения является одним из значимых факторов, формирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие населения. Неблагоприятные органолептические свойства, несоответствие нормативам по санитарно-токсикологическим и радиологическим показателям, а также обнаруживаемые в пробах воды инфекционные агенты во многом определяют рост показателей заболеваемости в широком спектре нозологических форм. При этом, не только санитарно-эпидемиологические требования к качеству воды, но и анализ ее прогнозных запасов играют важную роль в планировании стратегии устойчивого потребления водных ресурсов. Согласно данным «Доклада ООН о состоянии водных ресурсов мира», опубликованного в 2023 году, в мировом масштабе более 3,6 млрд человек не имеют постоянного доступа к канализации, 2 млрд из них лишены возможности потреблять доброкачественную воду из любых типов источников. Ситуация усугубляется тем, что рост населения способствует повышению объемов водопользования: во всем мире потребление воды увеличивалось примерно на 1% в год в течение последних 40 лет (UNESCO WWAP, 2023). Кроме того, результаты моделирования также указывают на перспективу роста численности городского населения, испытывающего нехватку воды – к 2050 году потенциально около 2,4 млрд людей столкнутся с дефицитом воды, поступающей из разводящих сетей (Rodell et al., 2018).

Необходимо отметить, что данные прогнозы связаны исключительно с ресурсами пресных вод, составляющих 2,5-3,0% от всех запасов воды на планете. Большая часть из них сосредоточена в почвенных и поверхностных ледниках (68,7%), а также в подземных источниках (30,1%) (Alcamo et al.,

2019). Ледники труднодоступны для организации коммунального водоснабжения ввиду их агрегатного состояния и локализации, что заставляет исследователей все чаще обращать внимание на грунтовые и межпластовые воды (Rosa et al., 2020). Подземные воды составляют примерно 50% от всего объема воды, потребляемой в хозяйственно-питьевых целях во всем мире, и около 25% от общего количества водных ресурсов, используемых для нужд сельского хозяйства. При этом, на территории Европы на орошаемое земледелие расходуется 30% от общего объема добываемых подземных вод, тогда как в аридных зонах Азии и Африки данный показатель достигает 91% (Jasechko et al., 2024).

Данные результаты согласуются с обзорными исследованиями, ориентированными на проблему истощения ресурсов подземных вод, значимых для организации как централизованного, так и нецентрализованного водоснабжения. Глобальный анализ S. Jasechko et. al. свидетельствует о значительном ускорении темпов снижения уровня грунтовых вод (>0,5 м/год) в XXI веке, наиболее ярко проявляющееся в засушливых регионах с большой долей земель сельскохозяйственного назначения. Корреляционный анализ подтвердил значимость тенденции к нарастанию климатической засухи в деградации запасов подземных вод. Авторы отмечают, что в зоне залегания >80% водоносных горизонтов, демонстрирующих быстрое падение уровня грунтовых вод в течении последних 30 лет, также наблюдалось достоверное снижение среднегодового количества осадков, в то время как во влажных и сухих субгумидных климатических зонах дегенерированные водоносные горизонты практически отсутствовали (<1%). Оценка степени влияния интенсивного ведения сельского хозяйства на запасы подземных вод также продемонстрировала наличие статистически значимой корреляции между снижением уровня грунтовых вод и уровнем антропогенной нагрузки: горизонты, характеризующиеся снижением уровня подземных вод, встречались в 17%

зон, где регулярно возделывается более 1/5 площади земли (Jasechko et al., 2024).

Информация, представленная Федеральным агентством по недропользованию в «Информационном бюллетене о состоянии недр территории Российской Федерации в 2023 году» отражает общемировую тенденцию к истощению запасов подземных вод. В масштабе 22 лет (2000-2022 гг.) общероссийские запасы подземных вод сократились на 13,6 %. При этом необходимо отметить положительную динамику показателя в Южном (+12,0%) и Дальневосточном (+10,3%) Федеральных округах (рис. 1) (Анненков и др., 2022).

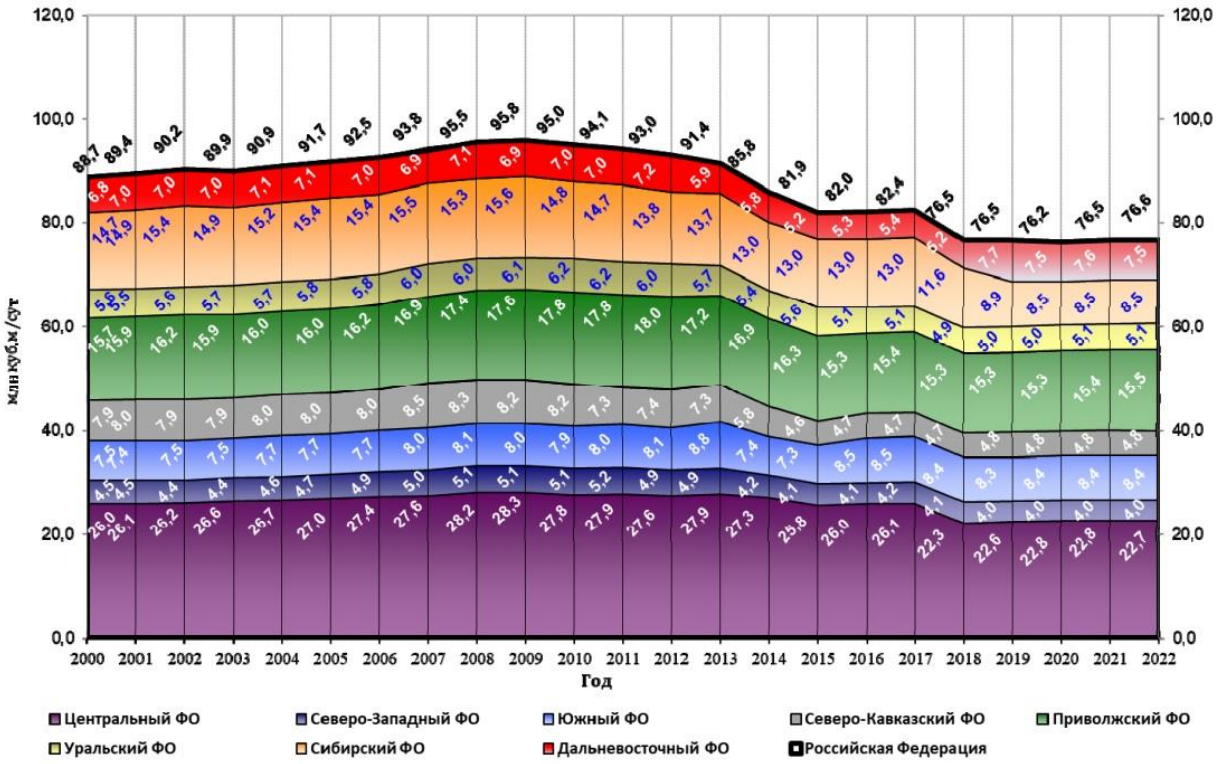


Рисунок 1 – Динамика запасов подземных вод по федеральным округам (2000–2022 гг.)

Объем добычи подземных вод в период 2000-2022 гг. уменьшился на 37,8%. Показатель объемов водопользования грунтовыми и межпластовыми водами также демонстрировал отрицательную динамику (-43,1%), доля хозяйственно-питьевого потребления в общей структуре использования

данного ресурса находилась в границах 73,8-83,7% в течении аналогичного промежутка времени (Анненков и др., 2022).

Ряд авторов видят причины сокращения законодательно утвержденных запасов и фактических объемов потребления подземных вод хозяйственно-питьевого назначения в административных мероприятиях по приведению ресурсной базы подземных вод в соответствие с современными требованиями санитарного законодательства РФ (Лукьянчиков, 2014; Арустамов и др., 2020).

В связи с тем, что на территории России в среднем около 47% систем хозяйственно-питьевого водоснабжения потребляют воду из подземных источников, изучение качественных характеристик и экологических условий формирования подземных вод являются значимой задачей для современной науки (Демин, 2019). Данные, представленные в докладе «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Российской Федерации в 2022 году», говорят о несоответствии 9,0% подземных источников централизованного водоснабжения санитарно-эпидемиологическим требованиям (8,6% из них – по причине отсутствия зон санитарной охраны) (Попова, 2023).

В то же время изучение и санитарно-экологическая оценка региональных особенностей химического состава питьевой воды из подземных источников в настоящее время весьма ограничены в виду сложности контроля нецентрализованных систем водоснабжения (Красовский и др., 2015). По данным Тулакина А. В. с соавт. у 75% источников подземного водоснабжения отсутствуют зоны санитарной охраны (ЗСО) и/или не соблюдаются требования к их организации и эксплуатации, что созвучно результатам мониторинга надзорных органов (Тулакин и др., 2018).

Загрязнение подземных вод носит различный по степени и масштабу характер. В целом, все факторы, влияющие на качественный состав подземных вод, можно подразделить на абиотические и антропогенные.

Следует отметить, что вопрос о влиянии природно-климатических изменений на ресурсы подземных вод до сих пор остается недостаточно изученным в виду сложности комплексной оценки климатических, литологических и почвенных факторов. В классических работах О.И. Крестовского показана роль фитобиоты в регуляции взаимосвязи в системе «растительность – почва – зона активного водообмена», определяющей параметры не только поверхностного, но и подземного стока (Крестовский, 1986).

R.J. Gibbs выделяет ряд факторов, определяющих геохимические условия формирования подземных вод и, как следствие, их химический состав. Согласно предложенной автором климатической модели, доминирующая роль в многолетней динамике концентраций веществ в воде принадлежит величине испарения влаги из водовмещающих пород, степени подверженности почв эоловой эрозии и количеству атмосферных осадков (Gibbs, 1970).

Что касается литологического состава горных пород, то он способен определять не только химический состав, но и условия циркуляции подземных вод. Породы имеют разную пористость и проницаемость, что влияет на скорость фильтрации воды через них. При проникновении воды через пористую структуру хорошо аэрированных горных пород происходит ее взаимодействие с образующими ее минералами. В случае, если горные породы содержат большое количество карбонатных минералов, таких как кальцит или доломит, то вода может обогащаться карбонатами и иметь высокую жесткость. Если же породы богаты сульфидными минералами, такими как пирит или пирротин, то подземные воды могут содержать повышенное количество серы и различных металлов; каменная соль способна обогащать подземные воды хлоридами натрия. Таким образом, в зависимости от особенностей литологического состава водоносных пород, подземные воды подразделяют на хлоридно-натриевые, сульфатно-кальциевые, гидрокарбонатные магниево-кальциевые и гидрокарбонатно-кальциевые (Смоляр, 2017; Гусева и др., 2018).

В отличие от абиотических факторов, антропогенные источники загрязнения подземных вод характеризуются большей степенью управляемости со стороны надзорных органов в области природопользования и здравоохранения. Резкое увеличение человеческой популяции делает потребность в воде и антропогенную нагрузку на гидросферу все более значительной. Первичная и вторичная эмиссия загрязнителей так или иначе связана с подземным стоком и аккумуляцией поллютантов в ресурсах подземных вод. Накопление трудновыводимых из биогеохимического цикла металлов-токсикантов и радионуклидов, а также бактериологическое загрязнение относится к важным факторам, определяющим медико-экологическую ситуацию в любом регионе (Данилов-Данильян и др., 2021).

Согласно требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», вода хозяйственно-питьевого назначения должна быть безопасна в эпидемиологическом, химическом, радиационном отношении, обладать благоприятными органолептическими свойствами и не содержать взвесей антропогенной природы. Таким образом, работы, посвященные анализу качества воды из подземных источников, можно подразделить на три группы: исследования, посвященные химическим, радиационным и санитарно-микробиологическим показателям безопасности.

Исследования В.А. Ерзовой с соавт. свидетельствуют о значимости деятельности крупных атомно-промышленных комплексов в формирование неблагоприятного радиационного статуса подземных вод на примере Ленинградской АЭС. Авторы отмечают превышение допустимых норм α- и β- активности изотопов ^{3}H, ^{90}Sr и ^{137}Cs на территориях, связанных со возведением новых энергоблоков станции. Антропогенная эрозия, вызванная строительными работами, способствует повышению проницаемости водоносных горизонтов, что особенно ярко проявляется в случае незащищенных от поверхностного воздействия песчаных водовмещающих пород с инфильтрационным питанием. Результаты исследования

показывают, что ситуация с накоплением радионуклидов в подземных водах усугубляется в присутствии в разрезе слабопроницаемых глинистых и суглинистых слоев, подстилающих маломощные пески (Ерзова и др., 2021). Помимо этого, требования СанПиН 1.2.3685-21 указывают на обязательность процедуры анализа радона в подземных водах. В работах Е.В. Левина с соавт. по анализу изотопа ^{222}Rn показана высокая способность подземных вод к обогащению радоном при его естественном выделении из урано-радиевых горных пород в поровое пространство в условиях высоко эродированных областей (Левин, Галянина, 2017).

Автохтонная микрофлора подземных вод многообразна. Исследования нецентрализованных подземных источников водоснабжения выявляют присутствие широкого спектра различных экологических групп микроорганизмов: олиготрофов, сапрофитов, нефтедеструкторов, сульфатредукторов, денитрификаторов и железобактерий. Хотя данные представители бактериоценоза подземных вод не являются патогенными для человека, они могут быть предвестниками ухудшения санитарно-экологической обстановки в зоне водозабора. Рост числа денитрифицирующих бактерий может косвенно указывать на увеличение степени фекального загрязнения (коммунально-бытовой сток), либо на нерациональное ведение сельского хозяйства в условиях отсутствия организации надлежащих санитарно-защитных зон. Кроме того, жизнедеятельность железобактерий способствует накоплению гидроксидов железа в элементах систем водоснабжения, создавая благоприятную среду для размножения колиформных бактерий (Лепокурова и др., 2016).

Публикации, посвященные патогенной и условно патогенной микрофлоре подземных вод, преимущественно рассматривают особенности экологии различных возбудителей острых кишечных инфекций (ОКИ).

В работах Ю.А. Рахманина с соавт. приводятся данные о высоком количестве проб воды (50%) из незащищенных горизонтов, содержащих бактерии рода *Klebsiella* (группа колиформных бактерий) – возбудителей

острых кишечных инфекций. Авторами было установлено, что источником загрязнения водоносного горизонта явились выгребные туалеты, находящиеся вблизи изучаемой территории. Примечательно, что при этом в образцах воды не регистрировались *Escherichia coli,* что указывает на высокую способность рода *Klebsiella* мигрировать в водоносные горизонты, а также на более пролонгированные, по сравнению с *E. coli,* сроки выживаемости клебсиелл в окружающей среде (Рахманин и др., 2016). Этот феномен коррелирует с результатами более ранних исследований, показывающих значительный рост вклада бактерий рода *Klebsiella* в общую структуру ОКИ (Анганова и др., 2011).

Л.В. Ивановна с соавт. также сообщают о частых случаях обнаружения аэробных бактерий синегнойной палочки (*Pseudomonas aeruginosa*) в подземных источниках, связанных с грунтовыми водами и верховодкой. При этом псевдомонады также регистрировались авторами в 8% проб воды из горизонтов, вскрывающихся скважинами. Примечательным моментом здесь является отсутствие колиформных бактерий в образцах, содержащих псевдомонады, что может указывать на наличие антагонистических взаимоотношений между этими типами патогенов (Иванова и др., 2013).

В отношении колиформных бактерий рода *Salmonella* в отечественных исследованиях отсутствуют современные публикации, сконцентрированные на предметном изучении их распространенности в подземных источниках, сальмонеллы становятся предметом внимания ученых в контексте оценки эпидемических рисков, связанных со сточными водами животноводческих хозяйств. Однако необходимо отметить наличие в зарубежных источниках данных о существовании статистически значимых прямых корреляций между засушливостью и ростом количества проб из подземных источников, содержащих бактерии рода *Salmonella* (Mahagamage et al., 2020).

Возбудители острых кишечных инфекций вирусной этиологии способны выживать в подземных источниках, однако показатели заболеваемости вирусными ОКИ в регионах с водоснабжением из подземных

источников значительно уступают в распространенности инфекции зонам, снабжаемым из поверхностных водных ресурсов (Дмитриева, Доскина, 2005). На примере Архангельской области было установлено, что заболеваемость ОКИ ротавирусной природы в зоне снабжаемых из Северной Двины городских агломераций в 7,2 раза превышает уровень заболеваемости в районах с подземными водоисточниками; частота встречаемости норовирусной инфекции оказалась в 5,6 раза выше, чем на территории с подземными источниками (Байдакова, 2016).

Исследования химического загрязнения подземных вод главным образом сосредоточены вокруг нитратной нагрузки, обусловленной сельскохозяйственной деятельностью человека. Авторы обзорных исследований связывают загрязнение подземных вод нитратами с бесконтрольным внесением органических и синтетических удобрений, пестицидов, канализационным стоком, а также накоплением растительных остатков и отходов животноводства в почвах нескольких регионов, включая территории Азии, Европы и Северной Америки. Кроме того, данные свидетельствуют о том, что избыточное внесение навоза при интенсивном ведении сельского хозяйства способно привести к изменению важнейших гидрогеохимических характеристик подземных вод. Так, увеличение содержания нитратов может способствовать росту концентраций некоторых катионов (Na^+ и Ca^{2+}) и анионов (SO_4^{2-} и Cl^-), повышению растворяемости карбонатов, что в совокупности приводит к росту общей минерализации воды вне зависимости от литологической природы водовмещающих пород (Menció et al., 2016).

Кроме того, присутствие нитратов в результате применения химических удобрений предполагает присутствие в почве других ионов, таких как F^- и K^+. Использование некоторых химических удобрений также может быть источником мышьяка, кадмия и цинка в грунтовых водах и неглубоко залегающих водоносных горизонтах. При этом в публикациях представлена противоречивая информация о механизмах влияния

атмосферных осадков на содержание нитратов в подземных водах: 1) рост концентрации в период интенсивной нисходящей инфильтрации в более глубокие слои с поверхности; 2) снижение содержания NO_3^- в сезон дождей вследствие разбавления раствора ионов дождями (Abascal et al., 2022).

Еще один аспект рассмотрения антропогенного воздействия на подземные воды связан с эмиссией тяжелых металлов и нефтепродуктов при проведении как открытых, так и подземных горных работ. Авторы рассматривают преимущественно два основных механизма загрязнения: первый связан с процессами образования кислотных рудников, взывающих растворение тяжелых металлов и дальнейшее их проникновение в подземные воды; второй обусловлен антропогенным нарушением естественной подошвы водоносного горизонта, защищающего напорные воды от загрязнения. Анализ содержания таких металлов как Pb, Cd, Ni, Cr, Mn, Fe, Zn и Cu в подземных водах показал преобладающий вклад свинца в общую картину экологического неблагополучия водоносных горизонтов, залегающих в зоне проведения горнодобывающих работ. При этом авторы отмечают, что наивысшие уровни содержания Pb наблюдались в засушливый период года (Ahamad et at., 2021; Adeyemi, Ojekunle, 2020).

На территории России химическое загрязнение подземных вод главным образом определяется локализациями полигонов захоронения промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных отходов, лишенных надлежащих санитарно-защитных зон. Согласно данным Информационного бюллетеня «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2022 году», при сельскохозяйственном типе загрязнения основными поллютантами являются соединения азота и пестициды; при коммунальном типе – соединения азота и хлора, железо, марганец, хлориды, фенолы; загрязнение некондиционными природными водами ассоциировано с хлоридами, сульфатами, железом, марганцем, фтором и стронцием. В зоне расположения 2,27% мониторинговых точек водозабора отмечалось присутствие токсикантов 1 класса опасности с преобладанием таких веществ

как мышьяк, бензол и бериллий; единичные реперные точки демонтировали загрязнение подземных вод таллием, ртутью, стиролом и ураном (Анненков и др., 2022).

Таким образом, несоответствие подземных вод санитарно-эпидемиологическим нормам качества преимущественно обусловлено превышением предельно допустимых концентраций токсикантов, а также радионуклидным и микробиологическим загрязнением. Тенденция к сокращению прогнозных запасов вод связана с аридным климатическим трендом и интенсивным ведением сельского хозяйства при нарушении содержания зон санитарной охраны водоисточников Работы, посвященные качественному составу подземных вод, сосредоточены вокруг микробиологического, химического и радиационного неблагополучия. Основными источниками загрязнения являются сельскохозяйственные предприятия (нитраты, микробное загрязнение), горно- и нефтедобывающая промышленность (тяжелые металлы, нефтепродукты), а также коммунально-бытовой сток (соединения азота и хлора, микробное загрязнение).

1.2. Риск-ориентированный подход к оценке влияния подземных вод на здоровье населения

В качестве приоритетного фактора развития патологических состояний, ассоциированных с употреблением подземных вод, рядом авторов рассматривается именно ее химический состав в виду обширности спектра причин, влияющих на качество источников водоснабжения, сложности организации локальных мероприятий по водоподготовке, а также хронического характера экспозиции токсикантов (Рахманин и др., 2014; Эпильнер, 2015).

Устоявшиеся в науке подходы, опирающиеся на анализ индивидуальных санитарно-гигиенических показателей и расчет интегральных показателей, зачастую не могут дать полной картины

взаимосвязи между развитием зависимых от химического состава воды заболеваний и состоянием окружающей среды. Содержащиеся в питьевой воде токсиканты способны вызывать общетоксические и канцерогенные эффекты находясь в концентрациях, не превышающие предельно допустимые при длительной экспозиции (Новиков и др., 2016; Онищенко, 2013).

В связи с этим, современный подход, основанный на оценке рисков здоровью с учетом сонаправленного воздействия загрязнителей на определенные критические системы, видится наиболее перспективным в плане построения прогностической модели влияния химического состава питьевой воды на популяционное здоровье. Оценка риска, информирование о риске и управление им, объединяемые в понятие «анализ риска», являются ведущим инструментом развития системы управленческих решений в сфере здравоохранения во многих странах. Применение данной методологии позволяет оценить реальный риск с точки зрения ущерба здоровью населения при употреблении воды не надлежащего качества (Попова и др., 2017; Зайцева и др., 2019; Мельцер и др., 2015).

В России в 2015 году было осуществлено внедрение модели риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического надзора в Федеральный закон № 294 «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля (надзора)». Новая технология реализации надзорных мероприятий предполагала, что «*отнесение объекта надзора к определенному классу опасности должно базироваться на оценке потенциального риска негативных последствий для здоровья человека при несоблюдении юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных санитарно-эпидемиологических требований*» (Попова А.Ю. и др., 2018).

В.И. Данилов-Данильян и О.М Розенталь указывают на еще один значимый аспект применения риск-ориентированного подхода к

деятельности надзорных органов в сфере здравоохранения и контроля качества среды обитания человека. Авторы отмечают факт принятия необоснованных требований к предприятиям-природопользователям в случае сопоставления данных о фактическом содержании веществ в окружающей среде с нормативами, основанными исключительно на предельно допустимых концентрациях (Данилов-Данильян, Розенталь, 2023).

Методология анализа канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью, представленная в Руководстве Р 2.1.10.1920-04 Федерального центра гигиены и эпидемиологии Минздрава России «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду», предполагает поэтапный анализ согласно алгоритму: идентификация опасности, оценка экспозиции, оценка зависимости «доза–эффект», характеристика риска на основе экспозиционных и референтных доз химических веществ. В условиях разнородности природы химических факторов и совершенствования методов их анализа, О.М. Розенталь и Л.Н. Александровская отмечают важность учета однородности выборок при организации многолетнего мониторинга, что позволяет сконцентрировать внимание на более свежих данных и повысить качество получаемых выводов (Розенталь, Александровская, 2019).

На стадии идентификации опасности процедура оценки риска должна учитывать природно-климатические особенности региона. В ряде работ отмечается наличие устойчивой связи между сезонными колебаниями параметров стока, аридностью, природой водоносных горизонтов, сельскохозяйственной нагрузкой и динамикой величин рисков. Подобные выводы подтверждают актуальность учета гидродинамических и климатических данных при изучении качества подземных вод для территорий, характеризующихся высокой годовой амплитудой температуры при использовании риск-ориентированного подходя в системе социально-гигиенического мониторинга (СГМ) (Косарев и др., 2020; Сазонова и др., 2021).

Необходимо отметить, что процедура отбора и ранжирования наиболее значимых для той или иной территории токсикантов также остается актуальной проблемой в медико-экологических исследованиях. С.В. Клейн с соавт. видят причины трудностей, возникающих при составлении приоритетного списка загрязнителей в отсутствии достоверной информации об особенностях токсического действия некоторых веществ и дефиците данных о приоритетных путях их поступления. Методологически эти трудности проявляются в отсутствии сведений о критических системах, подвергающихся неканцерогенной опасности, для ряда токсикантов в Р 2.1.10.1920-04. Еще одну проблему авторы видят в отсутствии единых международно принятых референтных доз для ряда химических факторов. Таким образом, применение локальных гигиенических нормативов вместо научно обоснованных референтных значений неизбежно приведет к ошибке в определении уровня риска (Клейн и др., 2022).

С.М. Новиков и Т.Н. Унгуряну отмечают важность обязательного указания не только стандартных, но и региональных факторов экспозиции загрязнителя при оценке рисков употребления питьевой воды (время и ежесуточные объемы употребления данной воды; соматометрические показатели; время, затрачиваемое на гигиенические процедуры: прием ванны и душа, умывание). Обязательного учета требуют возрастные особенности сенсибилизации водопользователей к загрязнителям, климатические, географические и сезонные факторы. Значимым является указание экспозиции для всех возможных путей поступления веществ, находящихся в воде: перорального, накожного и ингаляционного (при условии летучести соединений) (Унгуряну, Новиков, 2014). Согласно выводам Н.В. Степановой с соавт., введение в расчетную модель региональных значений факторов экспозиции позволяет получить данные, достоверно отличающиеся от результатов оценки риска здоровью, полученных с использованием стандартных величин. Авторы объясняют этот феномен значительным влиянием на суммарную величину риска со стороны значений хронической

среднесуточной дозы, перорально поступающей с питьевой водой загрязнителей (Степанова и др., 2016).

В отечественной и зарубежной литературе существует значительное количество санитарно-гигиенических исследований, посвященных процедуре оценки риска здоровью при пероральном поступлении токсикантов из подземных вод. Поисковая система PubMed предлагает ссылки на 217 источников, опубликованных в период с 2004 по 2024 г по запросу «health risk HQ groundwater»; платформа РИНЦ содержит информацию о 185 публикациях, посвященных риску здоровью, ассоциированному с пероральным поступлением токсикантов из подземных вод (при исключении из поиска кластеров патентных свидетельств и грантовых заявок).

По данным Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году», на территории России наиболее часто регистрируются превышения гигиенических нормативов качества подземных вод по показателям общей жесткости и минерализации, содержанию железа, нитратов, нефтепродуктов и сопутствующего нефти сероводорода. Реже отмечаются несоответствия ПДК по карбоциклическим и хлорорганическим соединениям (Попова, 2023). Исследовательский интерес авторов публикаций, посвященных анализу риска, ассоциированного с потреблением подземных вод, в целом отражает эту картину.

Большинство исследований, выполненных в рамках риск-ориентированного подхода к изучению влияния химического состава подземных вод на популяционное здоровье, посвящено анализу организации централизованного водоснабжения и оценке качества реализации мероприятий по водоподготовке, вносящих существенных вклад в формирование химического состава воды хозяйственно-питьевого назначения. Однако вместе с тем необходимо отметить устойчивый рост доли альтернативных источников водоснабжения, особенно в регионах, лишенных доброкачественных поверхностных вод. Данное обстоятельство

побуждает авторов все чаще обращать внимание на качество нецентрализованного водоснабжения (Коньшина, 2019; Безгодов и др., 2015; Попов, 2017).

На территории Российской Федерации, к числу загрязнителей, имеющих наибольший вклад в формирование дополнительного числа случаев онкологических заболеваний, авторы относят главным образом летучие галогенорганические (1,2-дихлорэтан, тетрахлорметан, хлороформ, дихлорметан, дибромхлорметан, бромдихлорметан, трихлорэтен, перхлорэтилен, перхлорбензол) и ароматические (бензол, бензапирен) соединения и линдан. Анализ вклада неорганических веществ в формирование неприемлемого уровня канцерогенного риска здоровью демонстрирует доминирующую роль следующих металлов: мышьяка, кадмия, хрома, бериллия, никеля и свинца (Унгуряну, Новиков, 2014).

Наиболее осложненная ситуация наблюдается на территории Дагестана, основным загрязнителем, обладающим фактором канцерогенного наклона здесь является мышьяк: Т.О. Абдулмуталимова сообщает о превышении ПДК по данному токсиканту в случае 97% проб воды из подземных источников. При этом 53,9% населения региона потребляют избыточную по содержанию мышьяка воду ($C_{As} \geq 0{,}19$ мг/дм^3), формирующую неприемлемую зону индивидуального канцерогенного риска (Абдулмуталимова, 2019). В работах Р.А. Сулейманова с соавт. содержатся данные о неприемлемом уровне канцерогенной опасности, этиологически связанной с пероральным поступлением хрома из подземных источников водоснабжения, свойственном отдельным территориям республики Башкортостан. Помимо этого, авторы также отмечают значительную роль карбоциклических соединений в общую величину дополнительного риска развития новообразований, что может быть связано с деятельностью предприятий нефтехимического комплекса, загрязняющих подземные воды (Сулейманов и др., 2016). Что касается хлорорганических соединений, то в литературе представлена информация о вкладе данных веществ в общую

картину канцерогенного риска здоровью преимущественно для городов Арктической зоны Российской Федерации с нарушенной системой водоподготовки (Ковшов и др., 2019).

Зарубежные публикации отмечают доминирующий вклад мышьяка, свинца и кадмия в формирование канцерогенного риска. В обзорном исследовании Y. Aryan et al. подчеркивают высокий уровень опасности, формируемый мышьяком для популяции (213 млн. чел.), проживающей на территории стран Южной Азии: Индии, Пакистана, Бангладеш и Непала (Aryan et al., 2024). Примечательными также являются данные, полученные J. Kubicz et al. при изучении территорий Восточной Европы с умеренным климатом. Авторы отмечают наличие устойчивой тенденции к росту показателя риска здоровью, связанного с изменением качественного состава подземных вод во время засухи, в то время как сезоны с фоновыми значениями гидрогеохимических показателей демонстрировали достоверно более низкие значения канцерогенной опасности (Kubicz et al., 2021).

В отношении неканцерогенного риска, результаты зарубежных исследований свидетельствуют об актуальности изучения нитратной нагрузки на формирование риска, при этом отмечая преимущественно низкие и средние уровни опасности, формируемые пероральной экспозицией хрома, свинца, никеля, кадмия, мышьяка, меди, железа и цинка (Soldatova et al., 2018; Hague et al., 2018). В отечественных публикациях отмечаются созвучные зарубежным выводы, указывающие на преимущественный вклад нитратов и нитритов в формирование неканцерогенной опасности в сельской местности (Коньшина, 2019; Богданова и др., 2022). Ранжирование загрязнителей, выполненное на территории Ленинградской области, указывает на необходимость включения мышьяка, фторид-иона, кальция, натрия, бария, магния, нитратов/нитритов, марганца и железа в программы производственного контроля качества вод подземных источников для всех территорий Российской Федерации. Указанные токсиканты имеют сонаправленный механизм воздействия на почки, кровь, желудочно-

кишечный тракт, печень, центральную нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую системы, а также биохимические процессы, протекающие в крови (Горбанев и др., 2022).

Принимая во внимание политропный механизм действия указанных веществ, необходимо отметить, что длительное употребление воды с повышенным содержанием нитратов также способно вызвать метгемоглобинемию. Попадая в организм, под воздействием микрофлоры желудочно-кишечного тракта нитраты восстанавливаются до нитритов и связываются с гемоглобином, образуя метгемоглобин, неспособный фиксировать и переносить кислород (Mukhopadhyay, 2005). При хроническом же воздействии возможно формирование риска развития онкологических заболеваний (через стадию превращения нитритов в нитрозамины под воздействием кислой среды желудочного сока) (Zaki et al., 2004). Установлено, что поступление нитратов с водой оказывает более выраженное отрицательное влияние на состояние здоровья человека, чем прием эквивалентной дозы с продуктами питания, что обусловлено биокинетикой нитратов, а также хорошей растворимостью в воде, увеличивающей скорость их всасывания в кровь (IARC, 1987).

Отдельного внимания заслуживает вопрос анализа рисков возникновения у потребителей воды подземных вод из централизованных водоисточников ольфакторно-рефлекторных эффектов (органолептический риск). В науке имеются сведения о значимом вкладе следующих показателей, нормируемых по органолептическому лимитирующему показателю вредности: железа, общей жесткости и сульфатов, в то время как марганец ни в одном из рассматриваемых исследований не являлся фактором риска возникновения негативных ольфакторно-рефлекторных эффектов у водопотребителей (Богданова и др., 2020; Валеев и др., 2016; Иванютин и др., 2016).

Подводя итог вышесказанному, необходимо отметить, что риск-ориентированный подход к оценке влияния состава подземных вод на

популяционное здоровье является актуальным направлением в современной науке. Вместе с этим, указанный подход сталкивается с рядом трудностей, в числе которых отмечаются нехватка данных о критических системах для ряда токсикантов, отсутствие единого международного подхода к определению референтных доз, а также неопределенность в трактовке особенностей токсического механизма действия некоторых веществ. По данным исследований наиболее значительный вклад в развитие канцерогенных эффектов вносят хлорорганические вещества, нефтепродукты и некоторые металлы (мышьяк, кадмий, хром, свинец). Неканцерогенные риски здоровью преимущественно связаны с нитратной нагрузкой в зоне интенсивного ведения сельского хозяйства. Помимо этого, в публикациях представлена информация о влиянии кальция, натрия, бария, магния, марганца и железа в общую картину неканцерогенной опасности.

1.3. Индикация засушливости территорий как инструмент социально-гигиенического мониторинга качества подземных вод

Глобальная тенденция к усилению засушливости – острая проблема, требующая постоянного внимания органов государственного надзора в сфере экологии, природопользования, а также здравоохранения. Дефицит атмосферной влаги и положительный температурный тренд способны оказывать негативное влияние на различные показатели качества водных объектов, привести к истощению ресурсов как поверхностных, так и подземных источников водоснабжения. Поскольку обеспеченность доброкачественной питьевой водой относится к числу фундаментальных факторов, определяющих санитарно-эпидемиологическое благополучие населения, то анализ вклада климатических факторов в риск здоровью, этиологически связанный с потреблением некондиционных вод, является актуальной задачей. При этом, систематический контроль качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения невозможен без

комплексного подхода в рамках организации социально-гигиенического мониторинга со стороны надзорных органов в сфере экологии и здравоохранения (Рахманин и др., 2017; Косарев и др., 2020; Feng et al., 2020; Jasechko et al., 2024).

По мнению Н.В. Зайцевой с соавт., становление в Российской Федерации в XXI веке методологии оценки риска здоровью поспособствовало поиску инновационных подходов к анализу взаимосвязей в системе «среда обитания – здоровье человека» и стимулировало науку к комплексному поиску экологических предпосылок формирования нарушений популяционного здоровья населения. В системе СГМ появилась возможность оценивать вклад отдельных компонентов окружающей среды в суммарный риск здоровью и определять приоритетные факторы, значимые для формирования негативной медико-экологической ситуации, а также прогнозировать динамику состояния здоровья населения с помощью анализа многолетних трендов в изменении различных показателей качества среды обитания человека (Зайцева и др., 2016).

Комплексная оценка риска стала возможна с принятием постановления «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения Российской Федерации». Так как риск-ориентированный подход носит системный и межведомственный характер, современная наука нуждается в новых валидных методах прогнозирования рисков роста заболеваемости, основанных на экологических особенностях того или иного региона с внедрением в нее все новых диагностических инструментов (Жолдакова и др., 2018). Вместе с этим, предполагаемые к внедрению в процедуру социально-гигиенического мониторинга показатели оценки качества среды обитания человека должны быть нетребовательны к финансовым ресурсам, отвечать критерию простоты и основываться на открытых к общему доступу данных (Цунина, Жернов, 2016; Савельев и др., 2016).

Е.М. Студеникина с соавт. отмечают высокий потенциал геоинформационных систем (ГИС) как нового инструмента в процедуре социально-гигиенического мониторинга, направленного на выявление причинно-следственных связей между состоянием окружающей среды и показателей популяционного здоровья населения. Наземные методы исследования популяционного здоровья зачастую сопряжены со значительными материальными, а также временными затратами и могут быть затруднены в виду труднодоступности некоторых территорий (Студеникина и др., 2019).

В этом плане особенно перспективными видятся технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяющие быстро получить репрезентативную информацию для решения ряда экологических задач. Данные, полученные в камеральных условиях, способны помочь скорректировать расположение мониторинговых точек исследования качества различных компонентов окружающей среды и сосредоточить их в зонах наиболее высоких рисков здоровью (Адамович, Ашихмина, 2017).

В целях анализа вещественного состава подземных вод наиболее целесообразным видится применение индексов, оперирующих с факторами, отражающими концентрации присутствующих в подземных водах токсикантов. Классическими показателями здесь являются количество осадков, температура, уровень почвенной влаги и степень проективного покрытия территории. Приведенные индикаторы обладают преемственностью: малые значения проективного покрытия растительной биомассой и атмосферная засуха свидетельствуют о низких уровнях почвенной влаги. В аридном климате не происходит достаточного промывания почв дождем, что приводит к подъему солей жесткости с восходящим током воды из глубин субстрата. Таким образом, эти показатели способны выступить предикторами роста концентраций, определяющих риск здоровью химических веществ в неглубоко залегающих грунтовых и

безнапорных межпластовых водах (Злобина и др., 2017; Демидов и др., 2016; Wang et al., 2022).

В методических Рекомендациях по мониторингу засухи, совместно разработанных Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и ассоциацией «*Global Water Partnership*» (Глобальное водное партнерство - ГВП) представлен широкий перечень показателей и индексов аридности территории. Согласно ранжированию, представленному в Рекомендациях, все индикаторы засушливости могут быть условно разделены на три категории: «зеленые», «желтые» и «красные» (в порядке возрастания сложности их применения и доступности входных данных) (Svoboda, Funch, 2016).

Svoboda M. et al. подчеркивают важность организации процедуры отбора показателей для анализа засушливости на основе экологических особенностей изучаемой территории, тем самым смещая вектор внимания с исключительно «простых» («зеленых») индикаторов. При этом авторы отмечают важность применения сразу нескольких гибридных показателей и индексов, опирающихся на различные входные данные, получаемые с помощью принципиально отличающихся друг от друга методов исследования (Svoboda M. et al., 2015).

Спутниковые показатели идентифицируются комплексной программой борьбы с засухой ВМО/ГВП как индексы «зеленого» сегмента по причине открытости сателлитных баз данных ДЗЗ и оперативности предоставляемой спутниками информации. Метеорологические показатели, основанные на функции взаимодействия осадков с температурой, определяются в виде маркеров аридности «средней» сложности, в то время как почвенные классифицированы как «сложные», так как требуют предварительного анализа данных в гидрологической модели SWAT (рис. 2) (Narasimhan, Srinivasan, 2005).

	Показатель	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Метеорология	Индекс аридности (AI)	Желтый	P, T	Может также использоваться в климатических классификациях
	Z-индекс Китая (CZI)	Желтый	P	Предназначен для совершенствования по данным SPI
	Рекогносцировочный индекс засушливости (DRI)	Желтый	P, T	Требуются месячные значения температуры и осадков
Спутниковые	Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)	Зеленый	Sat	Рассчитывается для большинства территорий
	Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) и индекс влажности поверхности земли (LSWI)	Зеленый	Sat	Подготавливаются в оперативном режиме с использованием данных, полученных при помощи спектрорадиометра
Почвенные	Индекс дефицита эвапотранспирации (ETDI)	Красный	Mod	Сложные расчеты и требуются многие входные параметры
	Индекс дефицита почвенной влаги (SMDI)	Красный	Mod	Еженедельные расчеты на различной глубине почвы; сложные расчеты

* P = осадки; T = температура; Sat = спутник; Mod = моделирование

Рисунок 2 – Ранжирование показателей аридности на примере некоторых метеорологических, спутниковых и почвенных показателей и индексов засушливости

Вместе с тем, ряд авторов выделяют потенциал спутниковых индикаторов в оценке почвенной засухи. А.Н. Золотокрылин с соавт. отмечают значимость комплексного анализа аридности субгумидных зон юга Русской равнины с помощью почвенных, а также метеорологических показателей, определяемых ростом температуры приземных слоев воздуха и испаряемости почвенной влаги. При этом, сложность расчетных моделей может быть нивелирована применением методов дистанционного зондирования Земли. В этом случае изучение уровня почвенной засухи

реализуется путем определения значения эвапотранспирации, описывающего испарение с территории, покрытой зеленой растительностью (Золотокрылин, и др., 2020). Работы С.С. Шинкаренко и С.А. Барталева указывают на высокую силу пространственно-временной корреляции почвенных, спутниковых и метеорологических показателей аридности. Авторы указывают на совпадение территориальных границ ареалов экстремально аридных климатических условий и зон дефицита почвенной влаги, определенных при помощи спутниковых индексов, что обуславливает высокий потенциал их применения в социально-гигиеническом мониторинге среды обитания человека (Шинкаренко, Барталев, 2021).

Необходимо отметить, что значительное число исследований засушливости, реализованных при помощи средств дистанционного зонирования Земли посвящено вегетационным индексам. Наиболее часто применяемый в науке для исследования распространения растительности методами ДЗЗ нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) основан на снимках, полученных в красном (RED - около 0,6 мкм) и ближнем инфракрасном (NIR - около 0,8 мкм) диапазонах камеры спутника Landsat-8 (Трофимов и др., 2000). Анализируя потенциал данного индекса в оценке засух, ряд исследователей отмечают высокую силу корреляционной связи между NDVI и уровнем почвенной влажности сельскохозяйственных полей. При этом авторы отмечают, что аридные регионы с низкой плотностью проективного покрытия зеленой растительностью оказываются менее чувствительными к анализу почвенной влаги, произведенному при помощи NDVI, чем зоны с достаточным увлажнением. Это выражается в большей разнице между максимальными и минимальными значениями NDVI на снимках аридных территорий по сравнению с «влажными» регионами (Фомин, Чащин, 2023; Malakhov et al., 2020).

Еще один фактор неопределенности в применении NIR-RED индексов в условиях засушливых зон связан с тем, что при их расчете отражательная способность земной поверхности в красном и ближнем инфракрасном

диапазонах спектра значительно искажается на участках, покрытых редкой ксерофитной растительностью (покров менее 40%) и на голых почвах (Gao, 1995). Другие индексы, рассчитываемые по данным NIR-RED каналов спутника (SAVI, RVI, IPVI) также могут дать репрезентативную информацию лишь для территорий с преимущественно древесной растительностью и не будут точны для степных фитоценозов, так как используют красный канал спутниковой камеры, валидный при анализе дефицита влаги лишь в случае покрытия местности растительностью с высоким содержанием хлорофилла (Православнова, 2022).

Подобные ограничения, свойственные большинству известных индексов, основанных на NIR-RED, делают использование спутникового показателя NDMI (NIR-SWIR индекс – около 1,6 мкм) наиболее подходящим для изучения степной и пустынной растительности, произрастающей в засушливых зонах. Фитоценозы юга России характеризуются пестротой видового состава: от пустынных полынно-типчаково-ковыльных степей с несколькими эдафическими вариантами до пустынно-солянковых сообществ, произрастающих на солонцах. Данным растительным ассоциациям свойственно более низкое, по сравнению с фитобиотой увлажненных зон, содержанием хлорофилла, что не позволяет получить адекватные данные о засушливости путем спутникового анализа проективного покрытия аридных зон фоновыми видами-ксерофитами (Kasawani et al., 2010). Помимо этого, в литературе представлена информация о высокой чувствительности NDMI по сравнению с вегетационными индексами на основе NIR-RED в условиях неоднородной пустынной растительности ввиду высокой степени поглощения красного участка спектра хлорофиллом верхним уровнем листвы (Jin et al., 2014).

Таким, образом индекс NDMI имеет более высокую степень корреляции с биофизическими переменными ксерофитных сообществ (проективное покрытие, продуктивность биомассы), чем вегетационные индексы на основе NIR-RED так как коротковолновый инфракрасный

диапазон (SWIR) оперирует с количеством воды в растительности, а не с концентрацией хлорофилла. Данное обстоятельство позволяет наиболее адекватно оценить степени засушливости степных и полупустынных природных сообществ (Gao, 1995).

Что касается метеорологических показателей засушливости, то в отечественной и зарубежной науке представлен широкий спектр индексов, оценивающих степень аридности природных сообществ на основе анализа количества осадков и температуры атмосферного воздуха. Первый подход к изучению явления климатической засухи основывается на функции взаимодействия атмосферных осадков с температурой, которые являются критическими параметрами при определении засушливости. Второй подход к метрологическому анализу аридности территорий базируется на соотношении между усредненным за определенный период времени количеством осадков и испаряемостью влаги с поверхности почвы (Sohoulande, 2017).

Согласно результатам обзорного исследования Н.В. Мякишевой, с соавт., все индексы оценки климатической засухи могут быть подразделены на две группы. Первая объединяет индексы Иванова, Высоцкого, индекс сухости и радиационный индекс сухости Будыко, индекс аридности Стенца, индекс гумидности климата Торнтвейта и другие. Данные показатели характеризуются простотой интерпретации: при избытке увлажнения осадки (гумидный климат) будут доминировать над испаряемостью, при засухе (аридный климат) количество осадков будет уступать уровню испарения. Однако данные индексы связаны со сложностью их применения в камеральных условиях, что ставит под сомнение их потенциал применения в СГМ. Ко второй группе индикаторов авторы относят индекс де Мартонна (DMI), показатели Кеппена, Волобуева, индекс засушливости Сазонова, индексы Педя, а также широко применяемой в агроклиматологии гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова (Мякишева, Хованов, 2010). Входные данные, необходимые для расчета этих индексов,

представлены в открытых базах данных как отечественных, так и зарубежных мониторинговых сервисах, что позволяет рассматривать перспективу их внедрения в систему социально-гигиенического мониторинга среды обитания человека.

Ряд исследований указывают на валидность индекса де Мартонна в мониторинге засухи в условиях как евразийского, так и африканского климата (Araghi et al., 2018; Ullah et al., 2022; Derdous et al., 2021). При этом, в работах Jamali Z. et al., посвященных экстремально засушливым регионам Ирана, рассматривается потенциал модификаций индекса де Мартонна, реализованный путем замены среднегодовых температур в выборке на среднемесячное значение при $t_{ср.мес.}$>10°C. Авторы сообщают о том, что внесение в функцию DMI модификаций способствует повышению чувствительности индекса к динамике климатических факторов в условиях дефицита входных данных при изучении больших разнородных территорий в целях оценки экстремальных периодов засухи (Jamali, Heidarizadi, 2022).

Широко распространенные в практике показатели аридности, такие как индекс засухи Палмера и индекс Педя, требовательны к непрерывности рядов входных данных и не отвечают требованиям доступности и простоты, предъявляемым к внедряемым в процедуру СГМ подходам к оценке состояния среды обитания человека (Svoboda, Funch, 2016). Н.А. Шумова сообщает о высокой достоверности результатов, полученных с помощью гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) для степей Калмыкии (Шумова, 2021). Однако логика расчета ГТК предполагает включение в анализ данных только о месяцах с активными температурами ($t_{ср.мес.}$>10°C), что определяет потенциал его применения в прогнозировании эпидемического процесса активных в летний период возбудителей острых кишечных инфекций, но оказывается недостоверной при анализе рисков роста заболеваемости, ассоциированной с пероральным поступлением химических веществ.

Таким образом, спутниковые и метеорологические инструменты оценки засушливости территорий обладают потенциалом внедрения в систему социально-гигиенического мониторинга качества подземных вод в аридных зонах юга России. Спутниковый индекс NDMI и индекс засушливости де Мартонна отвечают требованиям, предъявляемым к имплементации новых показателей в СГМ. Данные индексы позволяют производить исследования в камеральных условиях, что является значимым в контексте изучения труднодоступных пустынных территорий. Доступность входных данных, необходимых для расчета этих показателей, снижает материальные и временные затраты надзорных органов, позволяя оперативно выявлять угрозы, прогнозировать многолетнюю динамику рисков здоровью населения, связанных с изменением климата, а также разрабатывать административные мероприятия и принимать эффективные управленческие решения по улучшению качества водоснабжения.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнялось в 2020–2023 годах и было реализовано в виде следующих этапов:

1) на первом этапе (2020 г.) производилась разработка общего дизайна модели прогнозирования рисков здоровью, основанной на показателях аридности;

2) на втором этапе (2020-2021 гг.) был осуществлен анализ качества подземных вод по химическим и микробиологическим показателям;

3) на третьем этапе (2021-2022 гг.) годах были рассчитаны неканцерогенные, канцерогенные и ольфакторные риски здоровью; выполнен анализ засушливости исследуемой территории;

4) на заключительном этапе (2023-2024 гг.) осуществлялся анализ заболеваемости, ассоциированной с качеством подземных вод; разработана модель прогнозирования динамики инфекционной и инфекционной заболеваемости, связанной с водным фактором; осуществлялись анализ и обобщение результатов исследования, формулирование выводов, определение перспектив дальнейшей разработки проблемы, оформление текста диссертации.

2.1. Обоснование определения приоритетного списка анализируемых загрязнителей подземных вод

Объектом настоящего исследования являются подземные воды Северо-Каспийского бассейна подземных вод II порядка (подпровинции), залегающего в зоне аридного Заволжья Волгоградской области, характеризующегося среднегодовым количеством осадков 300-400 мм на западе (умеренно аридная зона) до 250-300 мм на востоке региона (среднеаридная зона) согласно классификации Б.В. Виноградова (Виноградов

и др., 1995; Романова и др., 2015). Изучаемая территория рассматривалась нами в контексте трех гидрогеологических бассейнов III порядка, входящих в состав Северо-Прикаспийской подпровинции: Нижневолжского, Северо-Прикаспийского и Рын-Песковского. Процедура поэтапного анализа риска предполагала выбор приоритетного списка загрязнителей питьевой воды на основе учета гидрогеохимических, литологических и климатических особенностей региона на этапе идентификации опасности (Нефедова и др., 2018).

Показатели качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения были проанализированы нами на основе данных, представленных филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области филиал в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах» за 2017–2022 гг. Нами было проанализировано 1149 проб воды из мониторинговых точек подземных источников водоснабжения (смешанная и кольцевая разводящие сети). Пробы оценивались по показателям, включенным надзорным органом в процедуру СГМ: жесткость общая, железо общее, марганец, кальций, натрий, нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты, фториды, хлороформ, нефтепродукты.

Формирование расширенного списка приоритетных показателей качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения основывалась на анализе климатических, почвенных, литологических, гидрогеохимических и хозяйственных особенностей региона. Для исследования были дополнительно отобраны такие показатели как: алюминий, барий, бериллий, бор, кадмий, медь, молибден, мышьяк, никель, ртуть, свинец, селен, стронций, фенолы, цианиды, цинк (Клейн, Вековшинина, 2020; Абрамкин, 2016).

Выбор показателей производился на основе требований, представленных в 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», а также СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Помимо этого, в диссертационном исследовании был произведен анализ ежегодных докладов Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области «О состоянии окружающей среды Волгоградской области», а также отчетов Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области» для определения загрязнителей, наиболее часто обнаруживающихся в концентрациях, превышающих предельно допустимые (≥1,1 ПДК) (Лемешкин и др., 2023).

В дополнение к анализу государственной документации, была произведена обработка данных электронного ресурса «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды», созданного в рамках федерального проекта «Чистая вода», по следующим наблюдательным точкам СГМ: МУП КХ «Быково», МУП КХ «Приморск», ООО «ВОДСТРОЙ-1», МУП многоотраслевое ЖКХ Николаевского муниципального района, ООО «Николаевское ГКХ», МУП «Водоканал Палласовского района», МП «Водоканал», МУП «Лотос», МУП «Колобовское КХ», ООО «Ленинский Водоканал».

С целью анализа расширенного списка токсикантов, не фигурирующих в ежегодных отчетах СГМ, были произведены заборы проб воды в нецентрализованных источниках водоснабжения. Пробы отбирались в гидрогеохимически стабильный (апрель-октябрь) для подземных вод аридного Заволжья Волгоградской области период, при этом исследование носило поперечный характер. Время забора было обусловлено безнапорным

характером водоносных горизонтов исследуемого региона и его подверженностью воздействию сезонных факторов (схода снегов и половодья). Содержащиеся в воде токсиканты были проанализированы с помощью стандартных спектрофотометрических, ионометрических, титриметрических и гравиметрических методик на базе аккредитованной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Волгоградской области» (номер аккредитации № RA.RU.21BO03, от 07.08.2015 г.) по верхней границе 95% доверительного интервала (ДИ) концентраций. Использование значений ДИ обусловлено размером выборки и биологическим смыслом данного статистического параметра: наличием на исследуемой территории слабозащищенных от поверхностного загрязнения водоносных линз, содержащих поллютанты в концентрациях, значительно превышающих кларковые; пестротой гидрогеохимической природы водоносных горизонтов в районе Приволжской песчаной гряды, а также значительной территориальной удаленностью друг от друга реперных точек водозабора в зоне исследуемой территории (Болгов, Демин, 2018; Анисимов, Солодкова, 2013).

2.2. Методы оценки неканцерогенного, канцерогенного и органолептического рисков, ассоциированных с потреблением некондиционных подземных вод

Оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков производилась нами в соответствии с требованиями, предъявленными в «Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Методология оценки риска предполагает поэтапную идентификацию опасности, оценку зависимости «доза-эффект», оценку экспозиции и количественную характеристику риска здоровью населения.

Расчет среднесуточных доз при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой производился в соответствии с формулой и стандартными факторами экспозиции, представленными в таблице 1:

$$\mathrm{ADD} = \frac{\mathrm{Cw} \times \mathrm{V} \times \mathrm{EF} \times \mathrm{ED}}{\mathrm{BW} \times \mathrm{AT} \times 365} \quad (1)$$

Таблица 1 — Стандартные значения факторов экспозиции при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой

Параметр	Характеристика	Стандартное значение
ADD	Поступление с питьевой водой, мг/(кг*день)	-
Cw	Концентрация вещества в воде, мг/дм^3	-
V	Величина водопотребления, л/сут.	взрослые: 2 л/сут.; дети: 1 л/сут.
EF	Частота воздействия, дней/год	350 дней/год
ED	Продолжительность воздействия, лет	взрослые: 30 лет; дети: 6 лет
BW	Масса тела, кг	взрослые: 70 кг; дети: 15 кг
AT	Период осреднения экспозиции, лет	Взрослые: 30 лет; дети: 6 лет; канцерогены: 70 лет (независимо от возраста)

Неканцерогенный риск количественно оценивался на основе расчета коэффициента опасности (*HQ*) по формуле 2:

$$\mathrm{HQ} = \mathrm{ADD}/\mathrm{RfD}\ , \quad (2)$$

где:

HQ - коэффициент опасности;

ADD - средняя суточная доза, мг/кг;

RfD - референтная (безопасная) доза, (для водной среды - мг/дм^3).

Процедура анализа риска подразумевает группировку поступающих веществ по эффектам их воздействия или направленности на одни и те же критические системы (органы). При этом, согласно Р 2.1.10.1920-04, для оценки рисков, связанных с потреблением воды населением, используются данные о питьевой и накожной экспозиции загрязнителей. С учетом

однонаправленности воздействия нескольких веществ на отдельные критические системы, нами рассчитывался индекс опасности *(HI)* в зависимости от характера суммируемых неканцерогенных рисков по следующей формуле:

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \cdots + HQ_n, \quad (3)$$

где:

n – число веществ;

$HQ_{1\ldots n}$ – коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ.

Количественная характеристика неканцерогенного риска (HQ и HI).

Суммарный риск здоровью оценивается на основе рассчитанного коэффициента опасности. Если коэффициент не превышал единицу, то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни принималась нами как несущественное и такое воздействие характеризовалось как допустимое.

Завершающий этап связан с процедурой ранжирования веществ в зависимости от полученных данных о степени выраженности канцерогенных и неканцерогенных рисков и установлением окончательного списка приоритетных для данного региона загрязнителей с учетом экспозиции и возрастных групп населения на верхних границах доверительного диапазона.

В список показателей качества воды, регулярно анализируемых филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области филиал в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах», включен хлороформ, также обладающий значительной ингаляторной экспозицией (Турбинский и др., 2015). Данное обстоятельство побудило нас дополнить процедуру оценки риска здоровью, связанного с перорально поступающими веществами, анализом вклада ингаляционно поступающих доз хлороформа.

Доза вещества, испаряющегося из воды при эксплуатации систем централизованного водоснабжения, была рассчитана по формуле в соответствии со значениями переменных, представленных в таблице 2:

$$I = CDI \times ED \times EF/(AT \times 365) \quad (4)$$

Таблица 2 — Величины факторов, применяющихся для расчета доз ингаляторного поступления веществ, испаряющихся из воды централизованных систем

Параметр	Характеристика	Стандартное значение*
I	Ингаляционное поступление, мг/(кг х день)	-
CDI	Средняя концентрация в воздухе, мг/мл^3	CDI = (Xb + Xh) x Cw x Theta
ED	Продолжительность воздействия, лет	30 лет; дети: 6 лет
EF	Частота воздействия, дн./год	365 дн./год
AT	Период усреднения экспозиции, лет	30 лет; дети: 6 лет; канцерогены: 70 лет
Cw	Концентрация вещества в воде, мг/дм^3	-
Xb	Вспомогательная величина, отражающая вклад водных процедур в общую ингаляционную нагрузку	Xb = 0,7 x Ira x Tb x Wb/(VRb x 60)
Xh	Вспомогательная величина, отражающая вклад питьевой воды (кроме, водных процедур) в общую ингаляционную нагрузку	Xh = 0,54 x (Wh x IRa x (Th -Tr)/(VRh)) + 0,54 x (Tr x IRr x Wh/VRh)
Theta	Эффективность массопереноса вещества из воды в воздух	Theta = $1/(1/\beta_y+m/\beta_x)$
β_y	Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе кг/(м^2 х с)	База данных *SARETbase*
β_x	Коэффициент массоотдачи в газовой фазе кг/(м^2 х с)	База данных *SARETbase*
m	Константа распределения по закону Генри, Па-м^3/моль	Научная литература
IRr	Скорость вентиляции в покое, м^3/(кг х ч)	0,007 м^3/(кг х ч)
IRa	Скорость вентиляции при активной деятельности, м^3/(кг х ч)	0,02 м^3/(кг х ч)
Tr	Продолжительность сна, отдыха, ч	8 часов
Tb	Время, затрачиваемое на умывание, принятия душа, ванны, мин/день	30 мин/день
Th	Общее время пребывания в жилище, ч/день	16 ч/день
VRb	Скорость вентиляции в ванной комнате, м^3/мин	0,5 м^3/мин
VRh	Скорость вентиляции в квартире, м^3/ч	360 м^3/ч
Wh	Общее водопотребление в квартире, л/ч	30 л/ч
Wb	Водопотребление для умывания, душа, ванны, л/мин	8 л/мин

*Базы данных и программы по расчету межсредовых переходов и доз многосредового воздействия разработаны в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды.

При оценке ингаляторной дозы испаряющегося хлороформа, получаемой водопотребителями из централизованных систем водоснабжения, нами был рассчитан коэффициент массопередачи (Theta) данного токсиканта из жидкой в газовую фазу по уравнению аддитивности. В нашем расчете мы применяли значение константы распределения хлороформа (m), полученное экспериментальным путем при 20°С (7,8 $м^3$/моль) (Виттенберг, Новикайте, 1999). Накожная экспозиция не рассматривалась нами в виду ее пренебрежимо малой доли (≤2,5%) в общей величине неканцерогенного риска, формируемого хлороформом (Унгуряну, 2011).

Индивидуальной канцерогенный риск (*CR*) в течение жизни определяется по формулам линейной или экспоненциальной моделей:

$$\mathrm{CI} = \mathrm{LADD} \times \mathrm{SF}\ , \qquad (5)$$

где:

LADD - средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг *день);

SF - фактор канцерогенного потенциала.

Популяционный канцерогенный риск *(PCR),* характеризующий дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, рассчитывался нами по формуле:

$$\mathrm{PCR} = \mathrm{CR} \times \mathrm{POP}\ , \qquad (6)$$

где:

CR - индивидуальный канцерогенный риск;

POP - численность исследуемой популяции, чел.

В науке представлены ограниченные сведения о значениях *SF* для накожного пути поступления канцерогенов (*SFd*). Процедура оценки риска предполагает расчет дозы *SFd* для накожного поступления на основе величины абсорбции токсиканта в желудочно-кишечном тракте, а также значения *SFo*, полученного при пероральном введении химического канцерогена. Основой данного подхода является расчет поглощенной дозы и предположение о биологическом эквиваленте поглощенных доз при кожном

и пероральном путях поступления, содержащихся в воде токсикантов (Рахманин и др., 2023). В связи с этим, отдельная оценка накожной экспозиции хлороформа, способного к активному испарению из воды, нами не производилась.

При оценке индивидуального канцерогенного риска для здоровья, применялась следующая система критериев опасности:

1. Первый диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший $1 * 10^{-6}$, что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн. экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий (*допустимый; не вызывает беспокойства*).

2. Второй диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 * 10^{-6}$, но менее $1 * 10^{-4}$) соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Данные уровни подлежат постоянному контролю (*риск, вызывающий беспокойство*).

3. Третий диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 * 10^{-4}$, но менее $1 * 10^{-3}$) приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий (*опасный риск*).

4. Четвертый диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более $1 * 10^{-3}$) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Требует экстренной профилактики (*чрезвычайно опасный, недопустимый риск*).

Оценка **органолептического** риска (риска возникновения у потребителей ольфакторно-рефлекторных эффектов), возникающего при хроническом пероральном поступлении токсикантов из подземных питьевых вод, производилась с применением беспороговой методики, основанной на расчете пробит-регрессии и определении вероятностей возникновения

эффектов на основе значений из таблиц нормального распределения Гаусса (МР 2.1.4.0032-11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности»):

$$\text{Prob} = -2 + 3{,}32 \times \lg\left(\frac{\text{концентрация}}{\text{норматив}}\right) \quad (7)$$

В основу анализа пороговых значений концентраций органолептически значимых химических веществ был положен психофизиологический закон рефлекторных воздействий Вебера-Фехнера, согласно которому интенсивность восприятия анализаторами возрастает пропорционально логарифму интенсивности раздражителя. В соответствии с требованиями СанПиН 2.1.3684-21 были определены приоритетные компоненты природного происхождения с высокой вероятностью обнаружения повышенных концентраций в подземных водах, нормируемые по органолептическому признаку вредности: железо и марганец. Также были проанализированы ольфакторные риски, формируемые показателем общей жесткости воды, отмеченным рядом европейских кросс-национальных исследований в качестве значимого индикатора неудовлетворенности потребителей качеством питьевой воды (de França Doria, 2010; Owen. et al., 1999).

Пробит-регрессия и показатели нормального распределения вероятностей были рассчитаны для каждого их отобранных показателей. Итоговое значение риска возникновения у потребителей ольфакторных эффектов оценивалось путем установления в качестве порогового значения наибольшей из трех величин на основе специфики физиологии рецепторов человека, определяющих рефлекторные ответы на органолептические раздражители (Kandel et al., 2013).

2.3. Метеорологические и спутниковые методы как инструмент оценки качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения

Руководство Всемирной метеорологической организации, а также методические рекомендации международной организации *Global Water Partnership* содержат широкий перечень индексов, направленных на оценку степени аридизации территории (M. Svoboda, B.A. Fuchs, 2016). При организации отбора данных ДЗЗ с целью анализа потенциала их применения в системе СГМ необходимо обратить внимание на спутниковые индексы, не требовательные к большому объему труднодоступных входных данных. Одним из таких показателей является NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) – спутниковый индекс, применяемый для анализа количества влаги в растительности и в почве (H. Xu, 2006). NDMI рассчитывался нами по данным снимков, полученных из каналов ближнего инфракрасного (NIR), а также коротковолнового инфракрасного (SWIR) диапазонов камеры спутника *Landsat-8* в программном пакете QGIS v3.24) по следующей формуле:

$$\mathrm{NDMI} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{SWIR}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{SWIR}} \quad (8)$$

Спутник *Landsat-8* оснащен двумя приборами: *Operational Land Imager* (OLI) и *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), позволяющими получать изображения земной поверхности в восьми спектральных каналах с разрешением 30 метров, а также в панхроматическом режиме с разрешением 15 метров и в двух тепловых каналах с разрешением 100 м. Данные *Landsat-8* имеют несколько диапазонов в зависимости от их длины волны: синий диапазон, зеленый диапазон, красный диапазон, инфракрасный диапазон, тепловой диапазон, панхроматический диапазон (Roy et al., 2014) (табл. 3).

Таблица 3 — Спектральные каналы спутника Landsat-8

№	Название канала*	Длина волны, мкм	Разрешение (на один пиксель)
1.	Побережья и аэрозоли (Coastal Aerosol)	0,433—0,453 мкм	30 м
2.	Синий (Blue)	0,450—0,515 мкм	30 м
3.	Зеленый (Green)	0,525—0,600 мкм	30 м
4.	Красный (Red)	0,630—0,680 мкм	30 м
5.	Ближний инфракрасный (NIR)	0,845—0,885 мкм	30 м
6.	Ближний инфракрасный (SWIR1)	1,560—1,660 мкм	30 м
7.	Ближний инфракрасный (SWIR2)	2,100—2,300 мкм	30 м
8.	Панхроматическое изображение (PAN)	0,500—0,680 мкм	15 м
9.	Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1,360 — 1,390 мкм	30 м
10.	Тепловой инфракрасный1 (Thermal Infrared 1)	10,30 — 11,30 мкм	100 м
11.	Тепловой инфракрасный 2 (Thermal Infrared 1)	11,50 — 12,50 мкм	100 м

* по Roy D. P. et al., 2014

В нашем исследовании использовались архивные материалы ДЗЗ, полученные из базы данных геопортала *EarthExplorer*. Для снижения степени неопределенности в интерпретации результатов нами отбирались только космоснимки с показателем проективного облачного покрытия *CloudCover* менее 20% во временном диапазоне 2017-2022 гг. По данным, полученным с каналов NIR и SWIR, рассчитывались средние (mean) значения индекса NDMI. Таким образом, нами были получены растровые изображения, характеризующие пространственное распределение показателя засушливости в аридном Заволжье. Далее, с применением инструментов зональной статистики, нами были построены векторные слои, отражающие территориальную привязку значений NDMI к зоне залегания трех бассейнов подземных вод III порядка (Нижневолжского, Северо-Прикаспийского, Рын-Песковского). Усреднение величин NDMI по годам было получено

следующим образом: 1) для каждой пиксельной ячейки на ежемесячных снимках вычислялось значение индекса; 2) путем компиляции величин растровых слоев помесячные данные усреднялись и приводились к среднегодовому значению; 3) выполнялось наложение цветового градиента на итоговое усредненное изображение растра.

Показатель NDMI был выбран из широкого спектра спутниковых индексов для оценки вещественного состава подземных вод на основе флористических особенностей исследуемого региона. NDMI имеет более высокую степень корреляции с геоботаническими параметрами ксерофитных сообществ (такими как проективное покрытие и продуктивность биомассы), чем вегетационные индексы на основе NIR-RED, так как коротковолновый инфракрасный диапазон (SWIR) оперирует с количеством воды в растительности, а не с концентрацией хлорофилла. Наиболее часто используемый для геоинформационного исследования распространения растительности нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), применяемый для анализа степени аридизации территории, основан на красном (RED) и ближнем инфракрасном (NIR) диапазонах спутниковых снимков. Однако при расчете NIR-RED индексов отражательная способность красного и ближнего инфракрасного диапазонов спектра значительно искажается на участках, покрытых редкой растительностью (покров менее 40%) и на голых почвах. Другие индексы, рассчитываемые по данным NIR-RED каналов спутника (SAVI) могут дать репрезентативную информацию лишь для территорий с преимущественно древесной растительностью и не будут точны для степных фитоценозов (Muller et al., 2020; Hislop et al., 2018).

Еще одним показателем засушливости, позволяющим оценить степень уязвимости подземных вод к климатическим факторам в нашем исследовании выступил индекс аридности де Мартонна (DMI) (Martonne, 1926). DMI является одним из старейших и простейших индексов засушливости, однако он по-прежнему широко используется благодаря своей

эффективности и актуальности для определения сухого/влажного климата в различных регионах мира. Расчетная формула выглядит следующим образом:

$$DMI = \frac{P}{T+10}, \quad (9)$$

где:

P – годовая сумма выпавших осадков, мм;

T – среднегодовая температура воздуха, ^{o}C.

Источником данных об осадках и температуре выступили модели ERA5, представляющие собой атмосферный реанализ глобального климата пятого поколения ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды – *ECMWF Reanalysis v5*) (Arshad et al., 2021). При этом, нами был модифицирован подход к типологии используемых при расчете DMI входных данных о температуре. С помощью инструментов зональной статистики в среде QGIS нами были определены значения показателя, отражающего температуру земной поверхности – LST (*Land Surface Temperature*) (Li et al., 2013). Таким образом, при вычислении индекса де Мартонна, вместо атмосферных температур нами применялись величины LST, рассчитанные по следующему алгоритму:

1. Определение свечения земной поверхности (количества тепла от поглощенной солнечной радиации). Для этого нами применялись метаданные 10 канала Landsat-8 (RADIANCE_MULT_BAND_10);

2. Оценка температуры абсолютно черного тела на поверхности атмосферы («*TOA brightness temperature*» при коэффициенте излучения, равном 1) для элиминации погрешности, связанной с температурой воздуха;

3. Расчет вегетационного индекса NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) производился в целях калибровки данных путем удаления из массива значений температуры земной поверхности величин, связанных с температурой территорий, покрытых зеленой растительностью. Данных этап направлен на снижение неопределенности получаемых данных в виду

применения для оценки засушливости индекса NDMI, анализирующего содержание воды в растениях-ксерофитах и открытых почвах;

4. Анализ коэффициента излучения поверхности земли (*Land Surface Emissivity* – LSE) как источника тепла в дополнение к поглощенной солнечной радиации, вычисление итогового значения LST.

Индекс де Мартонна и NDMI отвечают критериям простоты использования, обозначенным в Докладе Всемирной метеорологической организации, таким как открытость программ для прогона индекса (открытая база данных *EarthExplorer*, справочно-информационный портал «Погода и климат», данные Волгоградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды), нетребовательность к суточным данным, доступность результатов анализа в режиме онлайн, а также малое число входных параметров или переменных. Данное обстоятельство обуславливает перспективы использования этих показателей для оценки степени водного стресса исследуемой территории волгоградского Заволжья и отвечает критериям потенциального внедрения индексов DMI и NDMI в систему социально-гигиенического мониторинга Волгоградской области.

2.4. Методы статистического анализа данных

Все выборки концентраций токсикантов были проанализированы на нормальность распределения с помощью критерия Пирсона. В виду пестроты геохимической природы водоносных горизонтов, обуславливающей высокие величины стандартного отклонения (σ) в выборках некоторых загрязнителей, для определения суммарного уровня риска (∑HI) нами был выбран аггравированный сценарий, реализованный в виде расчета доз поступления по верхней границе 95%-го доверительного интервала (ДИ).

Влияние спутникового (NDMI) и метеорологического (DMI) индексов засушливости на динамику риска здоровью оценивалось путем построения уравнения множественной регрессии (r_y,x_1,x_2) в стандартном масштабе с

определением β-коэффициентов, также был рассчитан коэффициент детерминации (R^2) и индивидуальные значения достоверности полученной модели по p-критерию. Выбор метода обусловлен гипотезой о наличии как прямого, так и косвенного влияния одного из признак-факторов на результативный показатель (т.е. влияние через другие факторы модели). Адекватность включения предикторов в модель оценивалась с помощью проверки факторов на мультиколлинеарность (VIF), были определены парные и частные коэффициенты корреляции. Применялись как линейные, так и нелинейные корреляционные функции. Прогностическая сила построенной регрессионной модели проанализирована с помощью коэффициента несоответствия Тейла (V), теснота корреляционных связей оценивалась по шкале Чеддока с проверкой достоверности на весах $T_{набл}/T_{крит}$ (по двусторонней критической области).

Многолетнее прогнозирование временного тренда значений переменных-предикторов (DMI, NDMI) для предсказаний значений неканцерогенного, канцерогенного и ольфакторного рисков в десятилетнем периоде (горизонт прогнозирования t_{10}) выполнялось с использованием модели ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). При сглаживании рядов динамики был применен прием переноса начала координат в середину ряда. Все результаты статистической обработки, выполненной в пакете прикладных программ *Matlab+Femlab* v9.13.0, принимались как значимые при величине критерия $p < 0,05$.

Данные о среднемноголетнем уровне как инфекционной, так и неинфекционной заболеваемости представлены в виде средних значений и ошибки средней (M±m). При этом, предварительный этап анализа инфекционной заболеваемости, потенциально ассоциированной с водным фактором, был связан с построением логит-модели. Бинарный ответ зависимой переменной в логистической регрессии определялся нами как наступление/отсутствие события «превышение среднеобластного значения процентной доли некондиционных проб воды по микробиологическим

показателям качества» в том или ином административном районе аридного Заволжья Волгоградской области.

На стадии оценки влияния аридного тренда на заболеваемость нами была проведена проверка данных на нормальность распределения в выборках зависимой переменной (заболеваемость) с помощью критерия Шапиро-Уилка (W). Гипотеза изучения инфекционной заболеваемости (H_0) заключалась в отсутствии статистической значимости различий между показателями частоты встречаемости случаев острых кишечных инфекций (ОКИ) на территории волгоградского Заволжья. Для ее проверки нами был выполнен ANOVA-тест (однофакторный дисперсионный анализ) с целью проверки влияния аридного тренда на рост заболеваемости ОКИ. Достоверность полученных результатов оценивалась с использованием парного t-критерия Стьюдента для зависимых совокупностей.

В случае необходимости оценки достоверности различий между тремя выборками влияющих на неинфекционную заболеваемость факторов, нами применялся H-критерий Крускала-Уоллиса для оценки равенства медиан. Последующая валидизация полученных данных выполнялась с помощью апостериорного теста Данна в целях анализа отличий средних рангов в каждой из пар выборок. Оценка статистической связи между показателями неканцерогенного риска по критическим системам и показателями ассоциированной неинфекционной заболеваемости производилась при помощи линейной парной корреляции Пирсона.

Итоговое ранжирование административных районов аридного Заволжья по показателю многолетней динамики инфекционной и неинфекционной заболеваемости выполнялось при помощи метода k-средних. Для обоснования достоверности различий между выделенными территориальными кластерами заболеваемости нами рассчитана величина объясняющей дисперсии (R^2).

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФАКТОРОВ, ЗНАЧИМЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Среди причин, формирующих здоровье населения и демографическую ситуацию на территории, важнейшее значение имеет наличие или отсутствие доброкачественной питьевой воды. Доступность качественной и безопасной питьевой воды является одним из основных показателей качества жизни нации. Приоритетным фактором в развитии патологических состояний человека в связи с употреблением воды является ее химический состав (Зайцева и др., 2019). Данное обстоятельство обосновывает необходимость анализа эколого-географических факторов, формирующих качество воды на конкретной территории.

Рельеф Волгоградской области носит уникальный характер – территория, занимаемая регионом, располагается в зоне сочленения двух крупных тектонических структур: Воронежской антеклизы и Прикаспийской синеклизы, разделенных глубинным Волгоградским разломом. Согласно информации, представленной в актуализированных ГИС-пакетах оперативной геологической информации (ГИС-атлас «Недра России», дата актуализации - 01.09.2022), территорию Прикаспийской синеклизы в заволжской части Волгоградской области преимущественно занимают *плиоценовые* толщи четвертичной системы, представляющие собой песчаные слои глубиной до 50 метров. Для прилегающей к Волгоградскому водохранилищу зоны типичны несогласно залегающие более древние *палеоценовые* отложения (Петров и др., 2022).

Геоморфологические особенности региона оказывают влияние на химическую природу подземных вод, играющих значительную роль в социальном и экономическом развитии восточной (заволжской) части Волгоградской области. Типичный для волгоградского Заволжья субаридный

климат, сменяющийся на восточных границах региона аридным, а также отсутствие достаточного количества поверхностных источников водоснабжения вынуждают значительную часть сельского населения (74,4%) использовать нецентрализованные подземные источники водоснабжения, 27,5% из которых не соответствуют гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям. Северо-Каспийский артезианский бассейн II порядка, занимающий восточную часть Волгоградской области в пределах Прикаспийской синеклизы является закрытой бессточной геологической структурой, в которой формируются преимущественно соленые воды и рассолы (общая площадь 22 172 км²). Высокая минерализация подземных вод может служить источником рисков здоровью населения, постоянно проживающего на территории Палласовского, Николаевского, Быковского и Старополтавского районов, расположенных в зоне Северо-Каспийского бассейна подземных вод (Лемешкин и др., 2023).

Минеральный состав вод Северо-Каспийской провинции (бассейн II порядка) носит постоянный гидрокарбонатный кальциево-магниевый или натриево-кальциевый характер. Данный феномен связан с повсеместно распространенными на территории бассейна плиоценовыми аллювиальными песчано-глинистым отложениями, представленными песками, супесями и суглинками. Реперные точки водозабора относятся к трем бассейнам подземных вод III порядка Северо-Каспийской подпровинции: Нижневолжскому, Северо-Прикаспийскому и Рын-Песковскому (рис. 3).

Рисунок 3 – Карта гидрогеологического зонирования волгоградского Заволжья. Источник: https://oblkompriroda.volgograd.ru

Подземные воды здесь питаются за главным образом за счет атмосферных осадков, просачивающихся из засоленных почв (занимающих >75% почвенного профиля Заволжья). Основными четвертичными водоносными горизонтами бассейна являются безнапорные эолово-делювиальные, аллювиальные, аллювиально-морские и морские терригенные отложения. Они образуют толщу горных пород разной мощности, формирующую зону аэрации от 0 до 50 м при крайне малой глубине

залегания вод: мощность водовмещающих пород Нижневолжского бассейна находится в диапазоне от 2 до 6 метров. Равнинный рельеф, характерный для всей Прикаспийской низменности, а также отрицательный многолетний тренд атмосферных осадков делают неглубоко залегающие подземные воды Заволжья уязвимыми к воздействию факторов эоловой эрозии водовмещающих пород, способствуя повышению содержания ионов подвижных элементов в водоисточниках, таких как железо, марганец, сера и азот. Загрязнение подземных вод ограничено локальными участками, носит постоянных характер, но, в целом, на качестве вод, эксплуатируемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, не сказывается. Участки с загрязненными подземными водами находятся в непосредственной близости от источников техногенного воздействия. Загрязняющими компонентами являются соединения азота, натрий, марганец, магний, калий, железо, сульфаты, хлориды, общая жесткость, минерализация, нефтепродукты, хлороформ (Православнова, 2022).

Для прилегающей же к левому берегу Волгоградского водохранилища Приволжской песчаной гряды типичны несогласно залегающие более древние *палеоценовые* отложения танетского, датского и зеланского ярусов. Гидрогеологический бассейн представлен преимущественно двумя свитами: Камышинской (P_1km) – на юге (пески, алевриты, опоковидные глины, опоки, кремнистые песчаники и алевролит) и Белогородне-Сызранской (P_1bg-sr) – на севере (пески, опоки, опоковидные глины, песчаники, алевролиты) и вскрывается скважинами. Водовмещающими являются мелко-разнозернистые пески, супеси и суглинки, слагающие нижнюю часть хазарско-хвалынского водоносного горизонта, водоупорный слой отсутствует. Водопроводимость на территории Приволжской песчаной гряды достигает 500–1000 м^2/сут. В зоне залегания хазарского аллювиального горизонта в административных границах Волгоградской области регулярно отмечаются превышения допустимых значений минерализации подземных вод в широком диапазоне (1,1–30,0 ПДК) (рис. 4) (Петров и др., 2022).

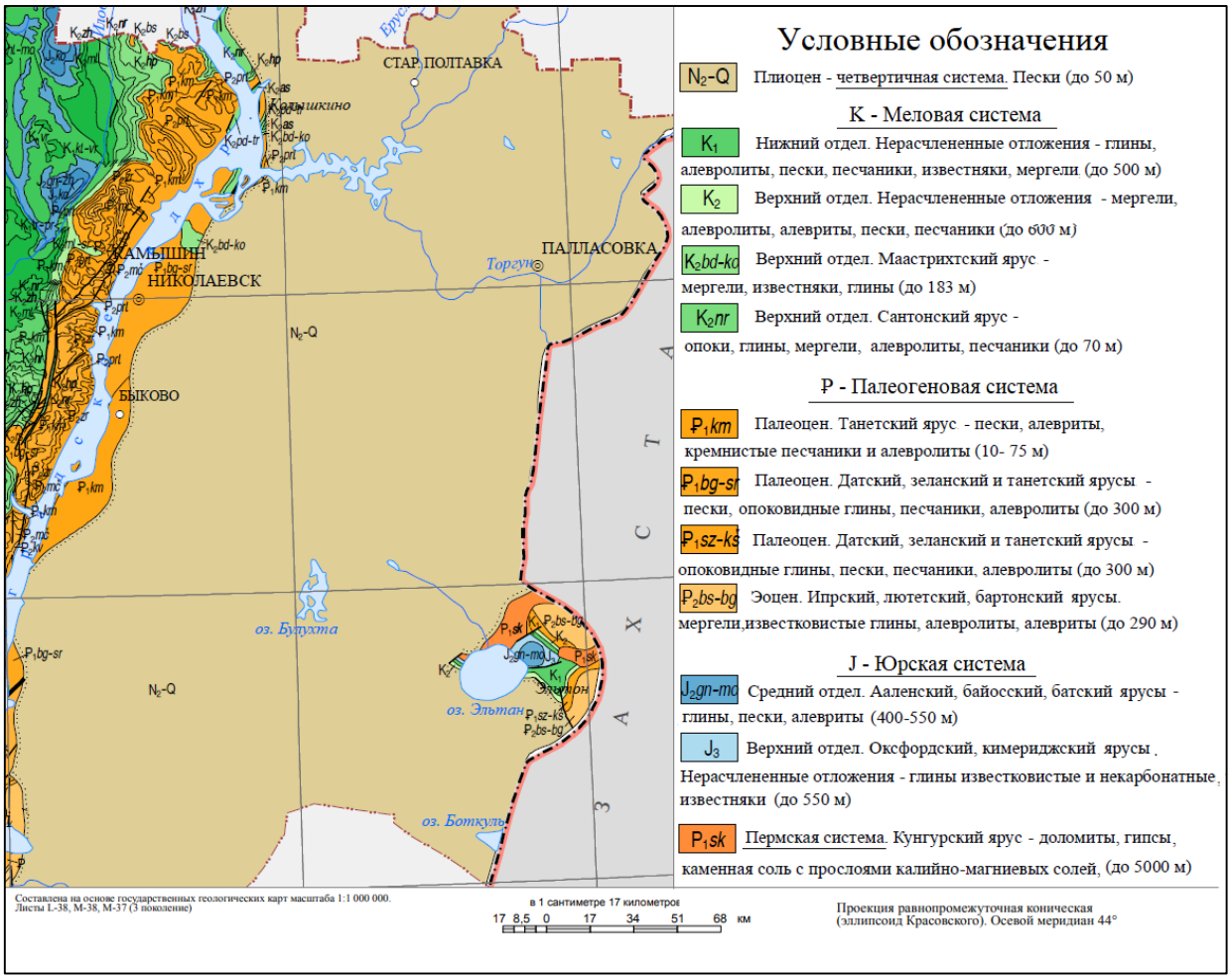


Рисунок 4 – Геологическая карта Заволжья Волгоградской области.

Источник: https://vsegei.ru/ru/

Для правобережной части региона характерен *альб-сеноманский* водоносный горизонт, залегающий на песчаниках, алевролитах и алевритах. В химическом составе преобладают хлориды и натрий, воды гидрокарбонатные кальциево-натриевые, гидрокарбонатные кальциево-магниевые и карбонатно-сульфатно-терригенные, формирующиеся в условиях аридного климата и неравномерного поступления пресного питания (со средней минерализацией 6,5 мг/дм^3). *Среднечетвертичный хазарский аллювиальный* горизонт типичен для всей территории Заволжья (Левобережья). Водовмещающие слои представлены песчано-глинистыми отложениями (пески, супеси, суглинки). Горизонт включает, преимущественно, солоноватые и соленые воды с высокой жесткостью и общей минерализацией до 25-30 мг/дм^3, водоупором являются глины

апшеронского возраста, лишь в районе оз. Эльтон на поверхность выходят более древние юрские, меловые и палеоценовые породы, формируя преимущественно воды хлоридно-сульфатного типа. Подземные воды, залегающие здесь, относятся к *хазарско-хвалынскому аллювиально-морскому* водоносному горизонту. Почти повсеместно на территории Палласовского района основными проблемами эксплуатации этого горизонта являются: неглубокое залегание верхних водоносных слоев (3-7 метров), а также слабая дренированность водовмещаемых пород (песков, супесей, суглинков, глин). В районе Эльтонского сельского поселения складывается иная ситуация – реки, впадающие в оз. Эльтон, хорошо дренируют хазарский горизонт, формируя депрессионную воронку. В результате чего уровень подземных вод опускается более чем на 20 метров (Петров и др., 2022).

Согласно модели, предложенной Gibbs R.J., для подземных вод существует тесная взаимосвязь с климатическими параметрами, заключающаяся в высокой отрицательной корреляции между количеством осадков и концентрациями токсикантов. Доминирующая роль в многолетней динамике концентраций веществ в воде принадлежит величине испарения влаги из водовмещающих пород, степени подверженности почв эоловой эрозии и количеству атмосферных осадков (Gibbs, 1970). Слабая инфильтрация атмосферной влаги препятствует естественному удалению взвешенных, эмульгированных и некоторых растворенных веществ в результате осаждения, сорбции, химических и биохимических превращений с последующей миграцией токсикантов в подземные воды из засоленных почв (Залибеков и др., 2019). При засухе уровень воды в подземных резервуарах может снижаться, что приводит к увеличению концентрации солей в воде из-за испарения. В свою очередь, это может привести к увеличению содержания таких компонентов солей в воде, как натрий, кальций и магний. Атмосферная засуха также способна привести к изменению минерального состава подземных вод из-за изменения условий растворения минералов (Разумов и др., 2014). Кроме того, аридные условия способствуют росту концентраций

нитратов антропогенной природы вследствие снижения уровня подземных вод, что может иметь серьезные последствия для их использования как источника хозяйственно-питьевого назначения (Гусева, 2018).

Основываясь на этих закономерностях, нами был проведет анализ климатического состояния аридных территорий волгоградского Заволжья в зоне залегания Северо-Каспийского бассейна подземных вод II порядка (в административных границах Быковского, Николаевского, Старополтавского и Палласовского районов). Среднеахтубинский и Ленинский районы были исключены из анализа по причине их принадлежности к увлажненному региону Волго-Ахтубинской поймы. Было установлено, что усредненная в многолетней ретроспективе (2017 – 2022 гг.) сумма осадков на изучаемой территории составила 381,5±26,4 мм при среднегодовой температуре воздуха, равной 9,1±0,2°С, что соответствует умеренно аридной зоне (по классификации Б.В. Виноградова) (Виноградов, 1995).

Тенденция к нарастанию аридности типична для всей территории Волгоградской области. Данные ERA5 свидетельствуют о том, что среднегодовое региональное количество осадков в период 1976-2022 гг. уменьшилось с 483,0 мм до 376,4 мм (-22,07%), а среднегодовая температура возросла с 7,4 до 9,7°С (+38,08%). В аридном Заволжье (2017-2022 гг.) также наблюдалась устойчивая тенденция к нарастанию засушливости. В Нижневолжском бассейне рост среднегодовых значений температуры по отношению к 2017 году составил 3,4% (от 8,8 до 9,1°С), при уменьшении суммы осадков на 5,1% (350,0 – 332,6 мм). Территории, занятые подземными водами двух других бассейнов демонстрировали схожую многолетнюю динамику климатических показателей. Среднегодовая температура границах Северо-Прикаспийского возросла на 3,5% (8,5 – 8,8°С), уровень осадков упал на 4,2% (400,0 – 383,5 мм); в зоне Рын-Песковского бассейна температура увеличилась на 3,1% (9,5 – 9,8°С), при падении суммы осадков на 5,9% (320,8 – 301,3 мм). Однако необходимо отметить, что при выраженном аридном тренде многолетняя динамика количества осадков в Заволжье носит

стохастический характер: в исследуемом периоде времени минимальное значение суммы осадков составило 206,8, а максимальное – 680,0 мм (рис. 5).

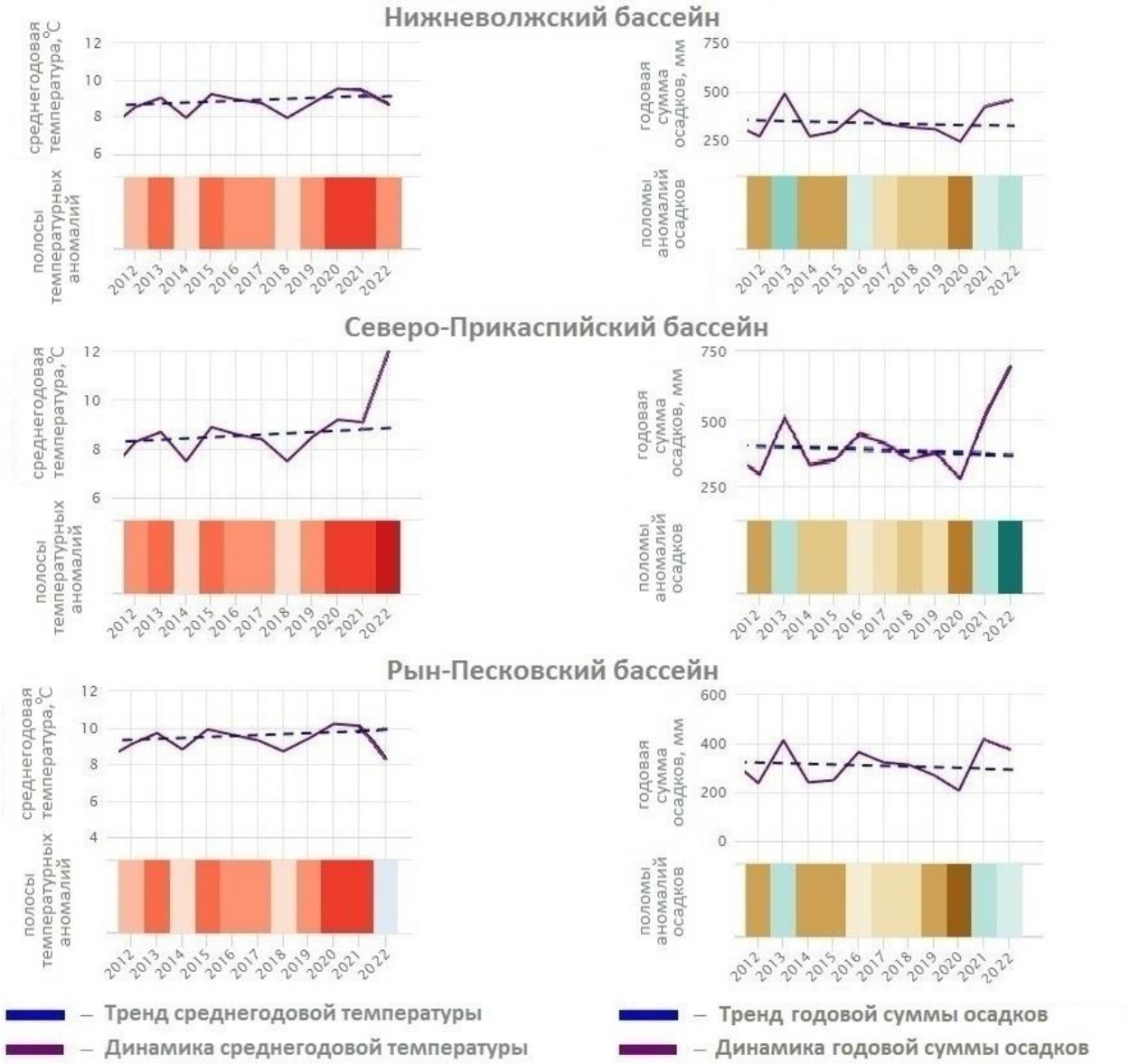


Рисунок 5 – Многолетняя динамика климатических показателей в зоне залегания бассейнов III подземных вод волгоградского Заволжья

На представленных в рисунке 5 диаграммах, построенных нами по данным модели климатического реанализа ERA5, красные графы соответствуют положительным аномалиям температур, синие – отрицательным. В отношении осадков существует следующая логика: зеленые графы характеризуют более влажные годы, коричневые – более засушливые. Линии трендов и цветовая маркировка временных периодов климатического мониторинга свидетельствует о многолетнем нарастании

аридности в зоне изучаемого региона. На температурных диаграммах не зарегистрированы преобладания отрицательных температурных аномалий в среднегодовом представлении ни для одной из изучаемых территорий, лишь в зоне Северо-Прикаспийского бассейна в 2022 году наблюдался баланс положительных и отрицательных температурных аномалий без смещения тренда в ту или иную сторону («серый» столбец на диаграмме). В отношении суммы осадков нами было отмечено повышение показателя атмосферной влаги в 2021 и 2022 годах в зоне залегания всех трех бассейнов подземных вод.

Дальнейшее исследование эколого-географических особенностей региона было связан с оценкой степени выраженности аномалий по двум рассматриваемым показателям. Для этого нами была построена и проанализирована шкала климатических аномалий с помесячным распределением признака. Показатели температуры и осадков были усреднены для всей изучаемой территории аридного Заволжья (рис. 6).

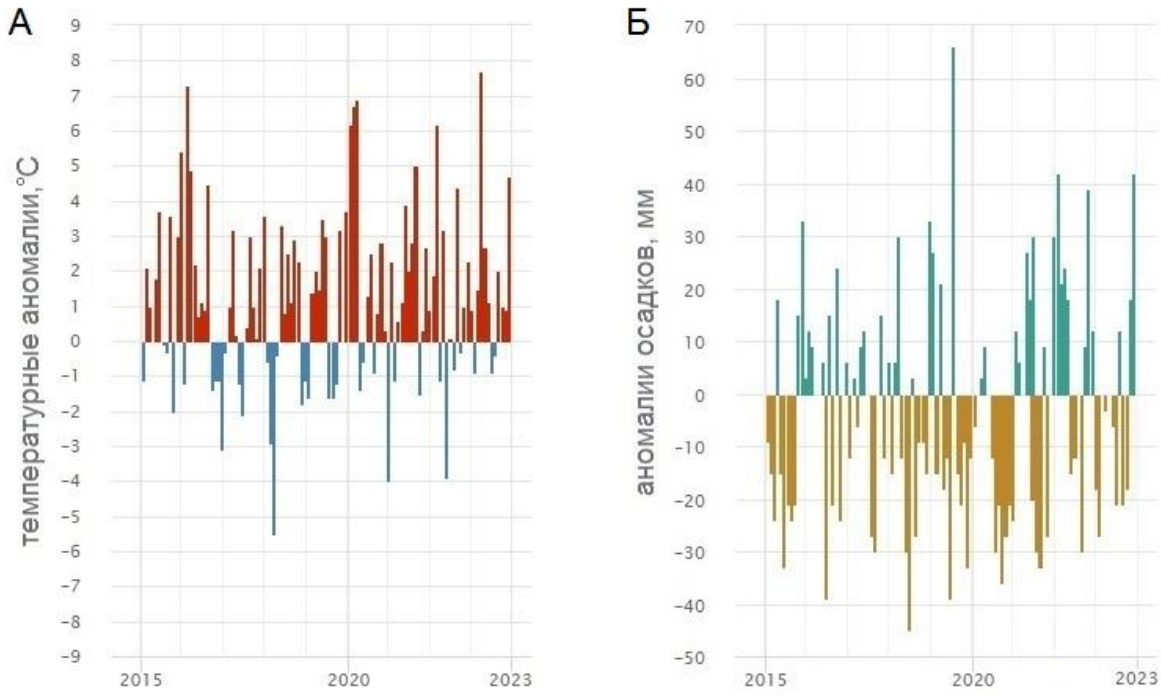


Рисунок 6 – Аномалии температуры и осадков в месячном разрешении

Рисунок 6а отражает помесячные температурные аномалии по каждому из месяцев, начиная с 1980 года. Логика графического представления

аномалий основана на сравнении каждого из изучаемых периодов времени с усредненным за тридцать лет значением температуры в том же месяце (используется массив данных ECMWF в диапазоне 1980-2010 гг.). Столбцы климатических аномалий здесь выражают то, на сколько тот или мной месяц был холоднее или теплее усредненного за 30 лет значения температуры в аналогичном месяце. Таким образом, красные столбцы на диаграмме соответствуют положительным, а синие – отрицательным аномалиям.

На рисунке 6б представлена диаграмма, отражающая аномалии другого климатического показателя – суммы осадков. Столбцы представляют собой результат сравнения суммы осадков в каждом из рассматриваемых месяцев с аналогичным показателем, полученным путем усреднения данных в течение 30 лет. При этом зеленый цвет соответствует избыточной величие атмосферной влаги, а коричневый – ее дефициту.

На заключительном этапе нами была проведена сравнительная характеристика положительных и отрицательных аномалий температуры и осадков в аридном Заволжье Волгоградской области. При этом температурные данные были усреднены для получения среднегодовых значений аномалий, а значения осадков просуммированы в каждом из годов (табл. 4).

Таблица 4 — Числовое выражение усредненных за год климатических аномалий в зоне аридного Заволжья

Годы наблюдения	Температурные аномалии, °С		Аномалии осадков, мм	
	Положительные	Отрицательные	Положительные	Отрицательные
2017	1,7	1,2	27	93
2018	1,6	2,0	75	162
2019	2,4	1,2	117	171
2020	3,5	1,9	9	165
2021	2,1	0,9	90	98
2022	2,2	1,9	111	84
2023	2,8	0,7	84	92

Оценка различий между двумя выборками температурных аномалий продемонстрировала наличие значимых отличий: положительные аномалии достоверно преобладали над отрицательными ($T_{расч.}$ =3,00 >$T_{крит.}$ =2,18, при p <0,05). Результаты статистического анализа данных о сумме осадков свидетельствовуют о том, что в исследуемом регионе наблюдается достоверно большее количество отрицательных аномалий, чем положительных ($T_{расч.}$ =2,30 >$T_{крит.}$ =2,18, при p <0,05). Полученные нами данные говорят о существовании устойчивой тенденции к нарастанию аридности в волгоградском Заволжье и обуславливают необходимость учета климатических особенностей при оценке и прогнозировании риска здоровью, ассоциированного с поступлением токсикантов из подземных вод.

Согласно результатам эколого-географического районирования геологической среды, представленного в Государственной геологической карте Российской Федерации, доминирующую роль в антропогенной нагрузке на водовмещающие породы Заволжья играют земли пахотно-животноводческого назначения, занимающие большую часть региона. Загрязнение агрохозяйственной природы преимущественно связано с внесением азотных удобрений, определяющих присутствие в почвах и подземных водах нитратов, нитритов и кальция (Застрожнов и др., 2009). Помимо сельскохозяйственных предприятий, к антропогенно-природным комплексам изучаемой территории относятся участки карьеров крупных предприятий, занимающихся добычей различных типов песков и глин, натриевых и магниевых солей, а также бишофита – источников загрязнения подземных вод натрием и магнием (Бочаров, Коломенская, 2021; Свидзинский и др., 2013).

Природно-техногенные комплексы аридного Заволжья, связанные с локализацией предприятий по добыче нефти и газа, занимают второе ранговое место в рейтинге зон функциональной нагрузки антропогенной природы. Данная особенность региона обуславливает необходимость анализа такого обобщенного показателя качества воды как нефтепродукты (рис. 7).

Рисунок 7 – Эколого-геологическое районирование аридного Заволжья в административных границах Волгоградской области. Источник: Информационные ресурсы Института им. А.П. Карпинского

Общая картина антропогенного загрязнения усугубляется регулярными случаями нарушения правил содержания зон санитарной охраны (ЗСО) водоисточников. В среднем по Волгоградской области проблемы с ЗСО становятся причиной несоответствия подземных вод санитарным требованиям в 13,1% случаев (от общего числа обследованных источников) по данным 2022 года с положительной динамикой по отношению к 2017 г. (+7,7%) (Лемешкин и др., 2023). Несоблюдение требований к особому режиму содержания территории в области активного агрохозяйственного использования геологической среды способствует сохранению постоянного риска возникновения вспышек инфекционных заболеваний, обусловленных

фекальным стоком, а также нарушением правил хранения и вноса удобрений (Эльпинер, 2015).

Таким образом, литологическая природа водовмещающих пород и геоморфологические особенности Северо-Каспийского бассейна оказывают значимое влияние на формирование химического состава подземных вод в Заволжье Волгоградской области. Атмосферная засуха способствует росту концентраций токсикантов в подземных водах аридного Заволжья вследствие увеличения испарения влаги из водовмещающих пород и слабой инфильтрации осадков. Основными источниками антропогенной нагрузки в Заволжье являются антропогенно-природные (агрохозяйственные предприятия и карьеры добычи твердых полезных ископаемых) и природно-техногенные комплексы – функциональные зоны нефте- и газодобычи.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, АССОЦИИРОВАННОГО С ПОСТУПЛЕНИЕМ ТОКСИКАНТОВ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

4.1. Оценка риска здоровью при потреблении воды централизованных систем водоснабжения

4.1.1. Оценка неканцерогенного риска здоровью при поступлении загрязнителей в организм человека из подземных вод

Система социально-гигиенического мониторинга качества централизованного водоснабжения (смешанная и кольцевая разводящие сети) из подземных источников, организованная на территории Заволжья Волгоградской области, предполагает ежемесячный анализ 13 приоритетных санитарно-химических показателей качества воды: хлороформ, общее железо, нитраты, нитриты, марганец, натрий, кальций, магний, фтор, нефтепродукты, сульфаты, хлориды, общая жесткость, а также санитарно-микробиологические и паразитологические показатели безопасности воды (общее микробное число, общие колиформные бактерии и цисты лямблий). В целях оценки риска нами было проанализировано 1149 проб воды из мониторинговых точек подземных источников водоснабжения филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области филиал в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах» за 2017 – 2022 гг. Количество реперных точек контрольного водозабора изменялось в указанном диапазоне времени от 13 до 23.

В исследовании рассматривались концентрации веществ, обнаруженные в административных границах Быковского, Николаевского, Старополтавского и Палласовского районов. Оценка данных по Среднеахтубинскому и Ленинскому районам, географически расположенных в увлажненном пойменном Заволжье нами не производилась. Отбраковка

данных территорий была реализована на основании эколого-географических критериев исключения, обоснованных нами в главе 3.

Поэтапная оценка риска производилась нами на основе следующего алгоритма, представленного в «Руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04): идентификация опасности, оценка зависимости «доза-эффект», оценка экспозиции, количественный расчет и итоговая характеристика риска. В виду пестроты геохимической природы водоносных горизонтов изучаемой территории, обуславливающей высокие величины стандартного отклонения в выборках некоторых загрязнителей, для определения уровня риска нами был выбран аггравированный сценарий, реализованный в виде расчета доз поступления по верхней границе 95%-го доверительного интервала (ДИ) (концентрации токсикантов отражены в Приложении А).

Идентификация опасности, обусловленной поступлением поллютантов из подземных источников водоснабжения. Согласно рекомендациям, изложенным в Руководстве Р 2.1.10.1920-04, при проведении оценки риска здоровью в первую очередь анализу должны быть подвергнуты вещества 1 – 2 классов опасности. Однако так как дизайн нашего исследования предполагал тестирование валидности индексов засухи, пригодных для внедрения в процедуру СГМ, то включение показателей качества воды в модель осуществлялось на основе наиболее часто отклоняющихся от нормативов веществ по многолетним данным протоколов мониторинга.

На территории волгоградского Заволжья, гидрогеологически представленного Северо-Каспийским артезианским бассейном II порядка, главным образом формируются соленые воды и рассолы с изменчивым химическим составом. При этом, доля подземных источников централизованного водоснабжения Заволжья, не отвечающая санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим показателям

качества в 2022 году, составила 21,5% (в 2021 г. – 23,5%, в 2020 г. – 23,8%, в 2019 г. – 22,1%, в 2018 г. – 23,9%, в 2017 г. – 21,5%), в среднем по России данный показатель находился на уровне 12,5% (по данным за 2021 год). В подземных водах хозяйственно-питьевого водоснабжения исследуемого региона ежегодно регистрируется превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) по таким загрязнителям как хлороформ (1 класс опасности), общее железо (3 класс опасности), хлориды (4 класс опасности), сульфаты (4 класс опасности), магний (3 класс опасности), натрий (2 класс опасности), кальций; периодически наблюдаются отклонения от нормативов по нитратам (3 класс опасности), нитритам (2 класс опасности), фторидам (2 класс опасности) и нефтепродуктам; отмечается несоответствие санитарным требованиям по показателю общей жесткости, что соотносится с химической природой аллювиальных водоносных горизонтов морского генеза Палеокаспия и особенностями антропогенной нагрузки региона (см. главу 3).

Кроме того, данные гидрогеологических исследований также свидетельствуют о том, что в западных зонах Заволжья, прилегающих к Волгоградскому водохранилищу (территории Быковского и Николаевского районов), наблюдается резкое изменение условий формирования подземных вод из-за воздействия подпора, выражающееся в изменении их глубины залегания и скорости движения. В течение двух последний десятилетий XX века уровень грунтовых вод возрос здесь в среднем на 15 метров вблизи русла Волги, на 25 километров к востоку от него на 2 – 3 метра. В зоне залегания Приволжской песчаной гряды подъем достиг критических отметок, значимых для серьезного влияния климатических факторов и антропогенной нагрузки на химический состав подземных вод (Клюшникова, 2013).

В связи с этим, первый этап процедуры оценки риска был связан с расчетом средних величин концентраций токсикантов, потенциально способных иметь как абиотическую, так и антропогенную природу. Нами были рассмотрены минимальные (Min) и максимальные (Max) из

обнаруженных концентраций веществ, а также рассчитаны средние для всего аридного Заволжья величины (M±m) (табл. 5).

Таблица 5 — Концентрации приоритетных поллютантов подземных вод аридного Заволжья в среднемноголетнем представлении

Показатель	ПДК,** мг/ дм^3	RfD,*** мг/кг	Концентрации загрязнителей, мг/дм^3		
			Min	Max	M±m
Хлороформ	0,060	0,010	0,046	0,368	0,161±0,016
Общее железо	0,30	0,30	0,07	2,06	0,43±0,03
Нитраты	45,00	1,60	0,10	27,39	9,18±1,08
Нитриты	3,000	0,100	0,003	0,051	0,034±0,006
Марганец	0,100	0,140	0,001	0,191	0,030±0,007
Натрий	200,00	34,30	29,10	182,71	127,77±8,11
Кальций	-	41,40	30,26	222,04	107,69±4,89
Магний	50,00	11,00	13,99	71,18	47,07±4,80
Фтор	1,50	0,06	0,05	1,45	0,38±0,04
Нефтепродукты	0,100	0,030	0,005	0,046	0,011±0,003
Сульфаты	500,00	-	130,78	1112,59	427,22±50,57
Хлориды	350,00	-	34,79	1123,23	260,94±26,13
Общая жесткость*	7,00	-	4,80	31,25	7,43±0,18

* - единицы измерения мг-экв/дм^3
** - СанПиН 1.2.3685-21
*** - Р 2.1.10.1920-04

Соотнесение полученных нами данных с ПДК и референтными дозами поступления токсикантов (RfD) показало, что усредненные по региону концентрации хлороформа и общего железа превышали как гигиенический норматив ПДК, так и RfD. Содержание нитратов, натрия, магния, кальция и фтора находилось в рамках ПДК, но превышало уровень референтной дозы. Среднее значение общей жесткости находилось на уровне 1,06 ПДК (в Р 2.1.10.1920-04 RfD для данного показателя не представлено в виду его обобщенной природы). Распределение данных по гидрогеологическим бассейнам подземных вод продемонстрировало диапазон концентраций хлороформа в пределах от 0,140 до 0,185 мг/дм^3, показатель общего железа варьировал от 0,34 до 0,39 мг/дм^3 (рис. 8).

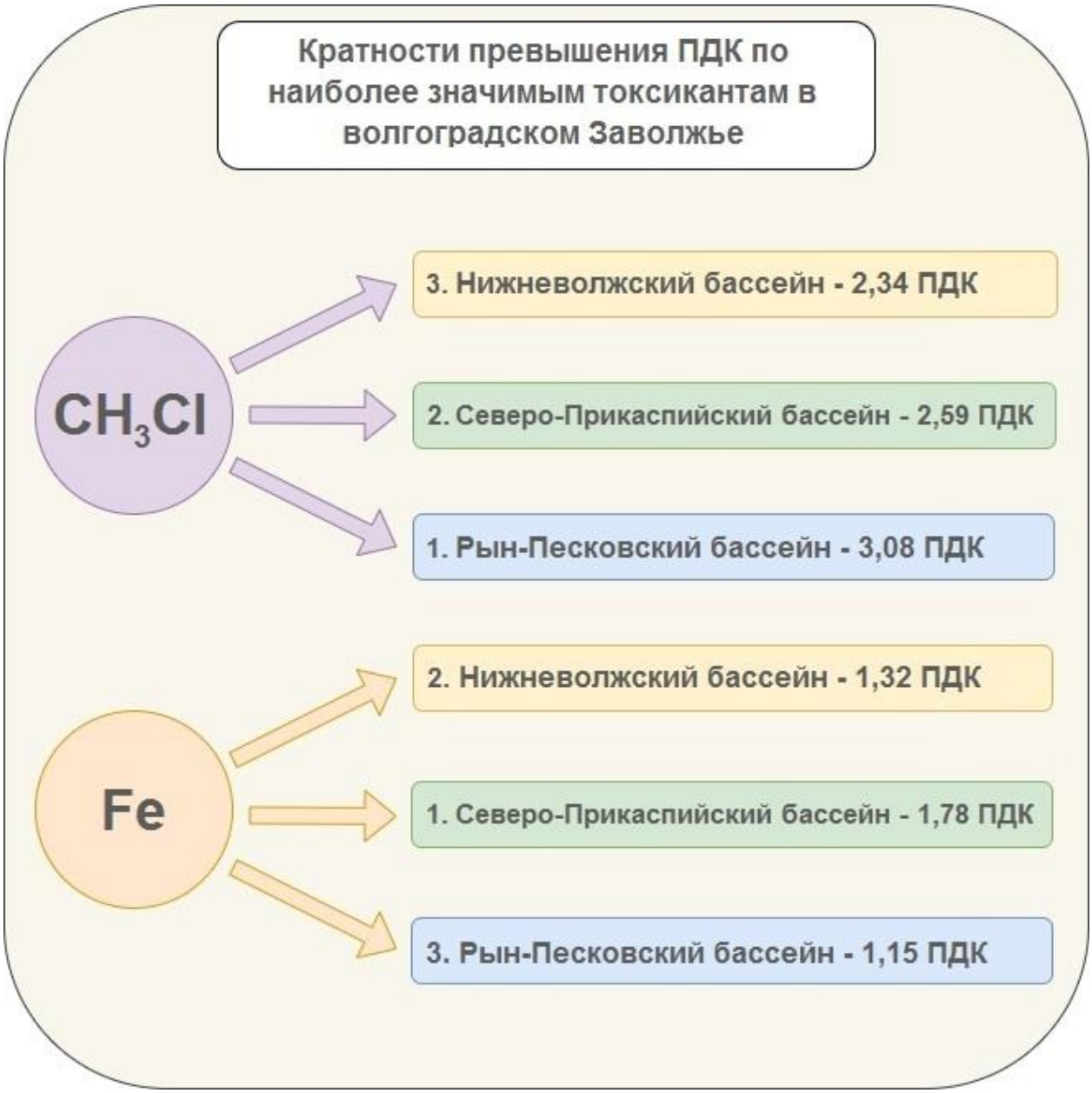


Рисунок 8 – Ранжирование гидрогеологических бассейнов волгоградского Заволжья по кратности превышения ПДК хлороформа и общего железа

Необходимо отметить, что феномен значительного превышения гигиенических нормативов безопасности и качества воды может использоваться в качестве инструмента оценки риска возникновения острых неканцерогенных эффектов только в случае анализа медико-экологической ситуации для какого-либо конкретного административного района. На данном этапе исследования нами был выполнен расчет рисков с территориальной привязкой реперных точек к трем гидрогеологическим бассейнам аридного Заволжья. Этот прием продиктован задачей поиска

наиболее простых и валидных экологических показателей прогнозирования роста уровня неканцерогенной опасности в долгосрочной перспективе с потенциальным внедрением статистически обоснованных предикторов в систему СГМ.

Оценка зависимости «доза-эффект». На втором этапе оценки риска здоровью для расчета нами были применены значения референтных доз перорально поступающих с водой химических веществ, представленные в Руководстве Р 2.1.10.1920-04. Использовались стандартные факторы экспозиции для детского (до 6 лет) и взрослого (старше 18 лет) населения, такие как объем суточного водопотребления, масса тела, длительность и период осреднения экспозиции. Подробные данные о технологии анализа риска на стадии оценки зависимости «доза-эффект» представлены нами в главе 2.

Оценка экспозиции. На третьем этапе оценки риска нами были проанализированы два сценария формирования неканцерогенной опасности, этиологически связанной с поступлением химических веществ с питьевой водой из подземных источников водоснабжения. Первый был связан с оценкой риска здоровью детей при поступлении веществ, рассчитанных по верхней границе 95%-го доверительного интервала. Второй описывал риск здоровью взрослых при поступлении веществ в концентрациях, также определенных по 95-процентилю. Оба сценария носят аггравированный характер, что обусловлено стохастическим характером засухи и особенностями гидрогеохимической природы исследуемой территории.

Количественный расчет и характеристика неканцерогенного риска здоровью. Рассчитанные по данным обработанных нами протоколов СГМ (Приложение А) суммарные значения (∑HI) рисков здоровью взрослого и детского населения Заволжья имели схожую многолетнюю динамику для всех входящих в Северо-Каспийскую подпровинцию бассейнов III порядка. Нами были выявлено, что как для взрослого, так и для детского населения значения неканцерогенной опасности находились в пределах допустимых

значений по 9 из 10 химических показателей (HQ <1). При этом, сульфаты, хлориды и общая жесткость не участвовали в процедуре оценки риска, как не именующие референтных доз согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04. Значительные величины индивидуального вклада хлороформа ($HQ_{дет}$>1) в общую картину неканцерогенной опасности регистрировались в 2017, 2020 и 2021 годах для каждой их трех изучаемых территорий. В 2017 году в зоне залегания вод Нижневолжского бассейна также отмечалось превышение допустимого уровня риска для здоровья взрослых ($HQ_{взр}$=1,37), ассоциированного с пероральным поступлением хлороформа. Было обнаружено, что данный загрязнитель вносит значительный вклад в картину общей неканцерогенной опасности: доля $HQ_{хлороформ}$ в суммарном показателе HI находилась в диапазоне 25,00-58,93%. Вклад нитратов, магния и натрия, занимающих вторую, третью и четвертую ранговые позиции в картине риске, составлял 7,61-17,07%, 9,70-11,88% и 2,95-14,55% соответственно.

Нами не было зарегистрировано превышения допустимого уровня риска по металлам, вносящим вклад в общую минерализацию (натрий, кальций, магний). При этом необходимо отметить, что на наблюдательных постах Быково, Левчуновка и Верхнепогромное ежегодно регистрировалось превышение кларковых концентраций этих веществ (2,3–3,0 ПДК) (табл. 6).

Таблица 6 — Значения неканцерогенного риска здоровью, рассчитанные по верхней границе 95% доверительного интервала

Показатель*	Неканцерогенный риск (HQ)											
	2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет
	Нижневолжский бассейн III порядка											
Хлороформ	1,37	3,20	0,37	0,86	0,40	0,90	0,91	2,13	0,63	1,46	0,20	0,46
Железо	0,12	0,30	0,09	0,22	0,05	0,11	0,09	0,20	0,06	0,15	0,02	0,05
Нитраты	0,22	0,50	0,35	0,52	0,18	0,42	0,27	0,62	0,25	0,58	0,12	0,28
Нитриты	0,01	0,03	0,01	0,02	1e-3	0,01	0,01	0,03	1e-3	2e-3	5e-3	0,01
Марганец	8e-3	2e-3	4e-3	9e-3	2e-3	5e-3	0,01	0,03	4e-3	9e-3	2e-3	5e-3
Натрий	0,07	0,16	0,10	0,24	0,14	0,32	0,14	0,31	0,12	0,27	0,09	0,20
Кальций	0,09	0,20	0,10	0,22	0,05	0,13	0,09	0,22	0,07	0,17	0,09	0,20
Магний	0,22	0,50	0,10	0,20	0,11	0,25	0,22	0,50	0,11	0,23	0,07	0,16
Фтор	0,18	0,42	0,13	0,30	0,16	0,04	0,34	0,78	0,33	0,78	0,12	0,28

Окончание таблицы 6

Нефтепродукты	0,05	0,10	0,02	0,04	7e-3	0,02	0,05	0,11	9e-3	0,02	5e-3	0,01
HI	**2,34**	**5,43**	**1,27**	**2,62**	**1,10**	**2,20**	**2,13**	**4,93**	**1,58**	**3,67**	**0,72**	**1,65**
	Северо-Прикаспийский бассейн III порядка											
Хлороформ	0,93	2,10	0,31	0,73	0,34	0,80	0,97	2,26	0,63	1,46	0,20	0,46
Железо	0,09	0,22	0,21	0,50	0,08	0,20	0,10	0,23	0,07	0,16	0,04	0,09
Нитраты	0,22	0,52	0,20	0,45	0,16	0,37	0,27	0,63	0,20	0,46	0,06	0,14
Нитриты	0,01	0,03	1e-3	0,01	1e-3	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,03
Марганец	0,01	0,03	0,05	0,11	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	2e-3	4e-3
Натрий	0,07	0,16	0,10	0,25	0,14	0,32	0,14	0,33	0,15	0,34	0,11	0,24
Кальций	0,01	0,23	0,14	0,31	0,07	0,16	0,09	0,21	0,13	0,24	0,08	0,19
Магний	0,15	0,35	0,10	0,23	0,09	0,21	0,24	0,55	0,17	0,40	0,12	0,30
Фтор	0,11	0,26	0,10	0,24	0,26	0,62	0,37	0,86	0,32	0,75	0,16	0,38
Нефтепродукты	0,04	0,10	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04	0,09	9e-3	0,02	6e-3	0,01
HI	**1,64**	**4,10**	**1,24**	**2,89**	**1,17**	**2,76**	**2,25**	**5,23**	**1,70**	**3,91**	**0,78**	**1,84**
	Рын-Песковский бассейн III порядка											
Хлороформ	0,94	2,20	0,65	1,50	0,34	0,80	1,08	2,53	0,57	1,30	0,23	0,53
Железо	0,08	0,20	0,05	0,12	0,03	0,07	0,07	0,17	0,06	0,13	0,02	0,05
Нитраты	0,38	0,89	0,23	0,53	0,18	0,41	0,42	0,98	0,25	0,59	0,16	0,38
Нитриты	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,07	6e-3	0,01
Марганец	0,01	0,02	5e-3	0,01	4e-3	9e-3	0,02	0,05	5e-3	0,01	2e-3	0,01
Натрий	0,18	0,41	0,12	0,24	0,13	0,30	0,17	0,41	0,14	0,33	0,11	0,26
Кальций	0,10	0,22	0,10	0,23	0,09	0,20	0,11	0,25	0,12	0,27	0,08	0,19
Магний	0,25	0,57	0,16	0,38	0,14	0,34	0,25	0,58	0,18	0,41	0,12	0,27
Фтор	0,12	0,27	0,18	0,42	0,11	0,26	0,31	0,73	0,29	0,67	0,08	0,20
Нефтепродукты	2e-3	4e-3	2e-3	4e-3	4e-3	8e-3	7e-3	0,01	2e-3	4e-3	9e-4	2e-3
HI	**2,07**	**4,80**	**1,51**	**3,46**	**1,04**	**2,42**	**2,45**	**5,74**	**1,65**	**3,78**	**0,81**	**1,89**

* - Исходные данные о концентрациях веществ представлены в Приложении А

На следующем этапе исследования были определены критические системы, подвергающиеся риску (HI) развития неканцерогенных эффектов с учетом сонаправленного действия токсикантов:

1. кровь (хлороформ, железо, марганец, нитраты, нитриты);
2. почки (хлороформ, кальций, нефтепродукты);
3. центральная нервная система (ЦНС: хлороформ, марганец);
4. сердечно-сосудистая система (ССС: нитраты, натрий);
5. печень (хлороформ).

Согласно Р 2.1.10.1920-04, фтор рассматривается как вещество, воздействующее на костную систему и зубы (референтная доза, RfD=0,06),

норматив ПДК <1,2 мг/дм3 для III климатического района (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»). Известно, что 50% перорально поступившего фтора в концентрациях, не превышающих предельно допустимые, в течение 24 часов инкорпорирует из плазмы в кальцинированные ткани, остаток же выводится из организма с мочой. В результате этого 99% пожизненной экспозиции вещества остается в костях, дентине и эмали зубов и не подлежит метаболизму (Агалакова, Гусев, 2011). На территории исследуемой гидрогеохимической провинции не было зарегистрировано превышение допустимого уровня риска, формируемого фтором (HQ <1, диапазон концентраций 0,14–0,56 ПДК). В связи с этим, на этапе выделения основных критических органов и систем фтор был исключен из анализа итоговой рисковой картины (рис. 9).

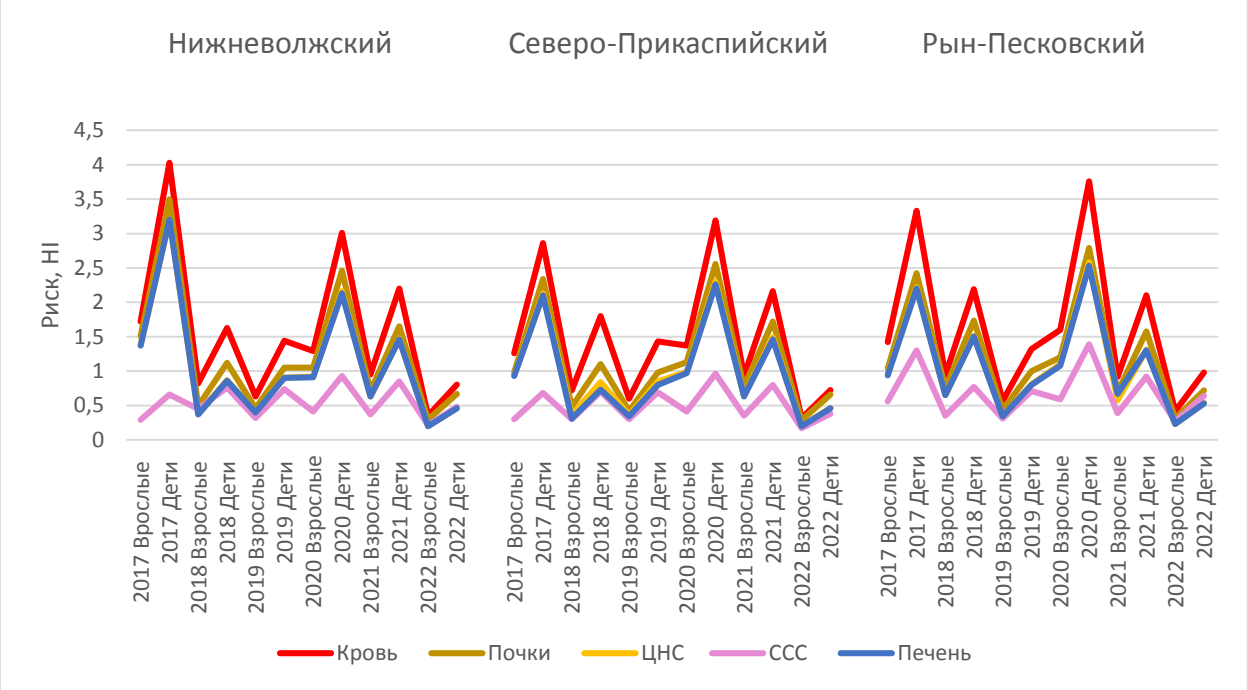


Рисунок 9 – Значения многолетней динамики рисков здоровью по основным критическим системам, подвергающимся опасности развития неканцерогенных эффектов в зоне Северо-Каспийского бассейна II порядка

Многолетняя картина риска развития неканцерогенных эффектов со стороны крови, почек, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем

демонстрировала сходную динамику. Минимальные значения риска, рассчитанные с учетом сонаправленного действия токсикантов, относились к сердечно-сосудистой системе, что объясняется отсутствием вклада хлороформа в этот феномен. Превышение допустимого уровня $HI_{ссс}$ выявлено для детей лишь на территории Рын-Песковского бассейна III порядка в 2017 и 2020 годах ($HI_{дет/ссс}$=1,30; $HI_{дет/ссс}$=1,39 соответственно). Максимальные уровни были отмечены для крови на протяжении всего изучаемого диапазона времени (2017-2022 гг.). В Нижневолжском бассейне наибольшее значение для данной критической системы зарегистрировано в 2017 году ($HI_{взр/кровь}$=1,51; $HI_{дет/кровь}$=4,03), в Северо-Прикаспийском и Рын-Песковском бассейнах пиковые величины относились к 2020 году ($HI_{взр/кровь}$=1,26, $HI_{дет/кровь}$=2,86; $HI_{взр/кровь}$=1,42, $HI_{дет/кровь}$=3,33 соответственно). Необходимо отметить, что в 2019 году значения HI, превышающие единицу, были отмечены лишь для детей: Нижневолжский бассейн, $HI_{дет/кровь}$=1,63; Северо-Прикаспийский, $HI_{дет/кровь}$=1,43; Рын-Песковский, $HI_{дет/кровь}$=1,32. Таким образом, значение суммарного риска здоровью ∑HI на всех территориях Северо-Каспийской подпровинции залегания подземных вод достоверно увеличилось (диапазон 2019 – 2020 гг.) как для взрослых, так и для детей (взрослые: $T_{набл}$=9,80>$T_{крит}$=4,30, p<0,05; дети: $T_{набл}$=11,80>$T_{крит}$=9,92, p<0,01). В 2022 году превышение допустимых уровней неканцерогенного риска не было зарегистрировано ни для одной из критических систем: достоверная отрицательная динамика риска сохранялась во временном отрезке 2020-2022 гг. при p <0,01 (взрослые: $T_{набл}$=21,50> $T_{крит}$=9,92; дети: $T_{набл}$=20,60> $T_{крит}$=9,92).

Примечательным моментом в нашем исследовании является значительный вклад хлороформа в формирование неканцерогенного риска здоровью. Для детей минимальные значения индивидуальной опасности ($HQ_{хлороформ}$) составили 0,46, максимальные – 3,20; для взрослого населения величины находились в диапазоне 0,20–1,37. В отечественной науке хлороформ традиционно рассматривается как загрязнитель антропогенного

происхождения, ассоциированный с хлорированием воды (Ямилова, Ковальчук, 2021; Егорова и др., 2013). Однако данные Hunkeler D. et al. и Breider F. et al, полученные в результате анализа мигрирующего в экосистемах хлороформа, свидетельствуют о сохранении изотопной сигнатуры углерода-13 в составе $CHCl_3$ при перемещении вещества из водовмещающих грунтов в подземные воды (Hunkeler et al., 2012; Breider et al., 2013). В условиях территорий, лишенных значительной антропогенной нагрузки, это может указывать на биогенное, либо абиогенное происхождение данного токсиканта. В обзорном исследовании Field, J.A. приводится информация о незначительном вкладе антропогенных источников (<10%) в глобальную продукцию хлороформа, циркулирующего в мировых экосистемах (Field, 2016). Peng P. et al. отмечают высокий потенциал соленых сред в естественном галогенировании органических веществ с образованием хлороформа (Pend et al., 2020). Это согласуется с экологическими особенностями Заволжья, для которого характерны засоленные грунты (солоди, солонцы и солончаки), формирующие соленые воды и рассолы (Панкова и др., 2019).

Мы акцентируем внимание на том, что картина риска здоровью, представленная в таблице 6, основывается исключительном на пероральном поступлении веществ. Вместе с тем известно, что вносящий наиболее значительный вклад в неканцерогенную опасность хлороформ также обладает значительной ингаляторной экспозицией (Унгуряну, 2011; Турбинский и др., 2015). В связи с этим, нами была оценена доля поступления данного загрязнителя в организм потребителей подземных вод через органы дыхания.

Для этого нами была рассчитана доза ингаляторно поступающего хлороформа при его испарении из питьевой воды, поступающей из систем централизованного водоснабжения при помощи модели межсредовых переходов токсикантов, разработанной в НИИ экологии человека и гигиены

окружающей среды (формулы и стандартизованные значения факторов экспозиции представлены в подглаве 2.2).

Также нами был произведен анализ содержания этого токсиканта в централизованных источниках, осуществляющих водозабор из поверхностных вод с целью сопоставления уровня хлорорганического загрязнения подземных вод Заволжья с поверхностными. В качестве контрольной группы выступили источники г. Ленинск, расположенного в увлажненном пойменном Заволжье и снабжающегося водой преимущественно из р. Ахтуба (табл. 7).

Таблица 7 — Концентрации хлороформа в воде и величины испаряющейся дозы (мг/дм^3)

Показатель		Отчетные годы СГМ					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
		Нижневолжский бассейн (подземный источник)					
Хлороформ	M±σ	0,177± 0,191	0,129± 0,008	0,136± 0,009	0,161± 0,190	0,170± 0,110	0,070± 0,002
	95%	0,481	0,132	0,140	0,320	0,220	0,070
	Доза inh	*0,339*	*0,093*	*0,099*	*0,226*	*0,155*	*0,049*
Показатель		**Северо-Прикаспийский бассейн (подземный источник)**					
Хлороформ	M±σ	0,211± 0,140	0,092± 0,019	0,112± 0,002	0,261± 0,201	0,190± 0,091	0,068± 0,001
	95%	0,351	0,110	0,120	0,340	0,220	0,070
	Доза inh	*0,248*	*0,077*	*0,085*	*0,240*	*0,150*	*0,049*
Показатель		**Рын-Песковский бассейн (подземный источник)**					
Хлороформ	M±σ	0,271± 0,089	0,194± 0,057	0,112± 0,009	0,270± 0,172	0,201± 0,092	0,064± 0,018
	95%	0,330	0,230	0,120	0,380	0,200	0,080
	Доза inh	*0,232*	*0,162*	*0,085*	*0,268*	*0,141*	*0,056*
Показатель		**г. Ленинск – контрольная выборка (поверхностный источник)**					
Хлороформ	M±σ	0,099± 0,017	0,121± 0,008	0,122± 0,002	0,097± 0,009	0,085± 0,007	0,068± 0,003
	95%	0,106	0,124	0,123	0,101	0,088	0,069
	Доза *inh*	*0,075*	*0,087*	*0,086*	*0,071*	*0,062*	*0,049*

Нами было установлено, что вклад ингаляторного пути поступления в общую величину риска, связанного с хлороформом в системах централизованного водоснабжения из подземных источников, был равен 73,61%. Максимальное значение риска при ингаляторной экспозиции составило 3,46 и было зарегистрировано в Нижневолжском бассейне в 2017 году, минимальное – 0,50 – отмечалось в 2022 г. на территории Северо-Прикаспийского бассейна. Таким образом, учет многосредового поступления поллютанта свидетельствует о том, что общая доля хлороформа в картине неканцерогенный опасности составляет 64,81-83,28% (рис. 10).

Рисунок 10 – Гистограмма с накоплением, отражающая вклад пероральной и ингаляторной экспозиций хлороформа в общий уровень риска

Анализ H-критерия Крускала-Уоллиса показал, что существует незначительная разница между выборками концентраций хлороформа в трех подземных бассейнах ($\chi 2(3)=5,06$, $p=0,168$), в то время как содержание данного токсиканта в воде поверхностных источников, снабжающих г. Ленинск, достоверно отличалось от всех подземных источников (средние ранговые баллы составили 14,83, 13,25 и 14,92 для бассейнов подземных вод, 7 – для поверхностных источников г. Ленинск). При этом также необходимо отметить, что хлороформ в централизованных системах водоснабжения Ленинска ни в одном из рассматриваемых случаев не формировал уровень риска, превышающий допустимый: наивысшее значение при ингаляторном

поступлении (HQ=0,88) было зарегистрировано нами в 2018 году, минимальное (HQ=0,50) – в 2022.

4.1.2. Оценка канцерогенного риска здоровью при поступлении загрязнителей в организм человека из подземных вод

Хлороформ, помимо неканцерогенного риска, выражающегося в политропном воздействии на такие критические системы как кровь, почки, центральную нервную систему и печень, способен также вносить вклад в развитие канцерогенной опасности. В соответствии с категорированием, принятым МАИР (Международное агентство по изучению рака), хлороформ относится к классу 2В канцерогенной опасности химических веществ – «*обстоятельства воздействия влекут за собой эффекты, которые могут быть канцерогенными для человека»*. Эта категория описывает факторы, для которых имеются «*ограниченные доказательства канцерогенности для человека и менее чем достаточные доказательства канцерогенности для экспериментальных животных*». Кроме того, рубрикатор МАИР в отношении класса 2В рекомендует применять данный ранг для описания онкологического потенциала различных агентов в случаях, когда «*нет достаточных доказательств канцерогенности для людей, но есть достаточные доказательства канцерогенности для экспериментальных животных*» (Samet et al., 2020).

Согласно руководству Р 2.1.10.1920—04, понятие индивидуального канцерогенного риска (CR) описывает дополнительную вероятность развития новообразований на протяжении жизни человека, обусловленную поступлением канцерогена в организм. Популяционный канцерогенный риск (PCR) характеризует количество дополнительных случаев онкологических заболеваний среди экспонированного населения в течение года, обусловленных пероральным поступлением хлороформа.

Индивидуальный канцерогенный риск был рассчитан нами с применением линейной модели, основанной на средней суточной дозе поступления хлороформа в течение жизни, мг/(кг·день) и факторах канцерогенного потенциала вещества SFO (для *per os* – пероральной экспозиции) и SFI (для *per inh* – ингаляторной экспозиции). Основываясь на рекомендациях МАИР, для хлороформа в Руководстве по оценке риска принята величина SFO, равная 0,0061 1/(мг/(кг·сут.)) для перорального поступления, SFI хлороформа при поступлении через органы дыхания составляет 0,008 1/(мг/(кг·сут.)). При определении PCR была использована ориентировочная численность популяции для каждого из трех исследуемых бассейнов подземных вод Заволжья (табл. 8). Подробная информация по расчетным формулам канцерогенного риска представлена нами в главе 2.

Таблица 8 — Значения индивидуального и популяционного канцерогенного риска, обусловленные поступлением хлороформа

Бассейны подземных вод III порядка	Экспонированная популяция	Годы СГМ	Индивидуальный канцерогенный риск (CR)		Популяционный канцерогенный риск (PCR)	
			Per os	*Per inh*	*Per os*	*Per inh*
Нижневолжский	56764 человека	2017	3,0E-5	2,7E-3	0,0247	153,2628
		2018	6,1E-6	7,4E-4	0,0049	42,0054
		2019	9,7E-6	7,9E-4	0,0078	44,8435
		2020	2,2E-5	1,8E-3	0,0183	102,1756
		2021	1,5E-5	1,2E-3	0,0128	68,1168
		2022	5,0E-6	3,9E-4	0,0040	22,1379
Северо-Прикаспийский	14191 человек	2017	2,4E-5	1,9E-3	0,0049	26,9629
		2018	6,1E-6	6,1E-4	0,0012	8,6565
		2019	8,5E-6	6,8E-4	0,0017	9,6498
		2020	2,4E-5	1,9E-3	0,0048	26,9629
		2021	1,6E-5	1,2E-3	0,0032	17,0292
		2022	5,0E-6	3,9E-4	0,0010	5,53449
Рын-Песковский	2723 человека	2017	2,4E-5	1,8E-3	0,0012	4,9014
		2018	1,6E-5	1,3E-3	0,0009	3,5399
		2019	8,5E-6	6,7E-4	0,0003	1,8244
		2020	2,7E-5	2,1E-3	0,0011	5,7183
		2021	1,4E-5	1,1E-3	0,0005	2,9953
		2022	5,6E-6	4,9E-4	0,0002	1,3343

Нами было выявлено, что в случае анализа исключительно перорального пути поступления хлороформа многолетние значения риска для всех анализируемых территорий относились ко второму диапазону канцерогенной опасности (1E-6<CR<1E-4), что, согласно Р 2.1.10.1920-04, соответствует предельно допустимому риску в течении всей жизни человека (верхней границе приемлемого риска). В случае ингаляторной экспозиции уровень риска в большинстве случаев находился в пределах третьего диапазона (1E-4<CR<1E-3 – опасный риск), приемлемого для профессиональных групп и неприемлемого для населения в целом, что обуславливает необходимость разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Таким образом, уровень канцерогенного риска при ингаляторном поступлении токсиканта был достоверно выше опасности, связанной с пероральной экспозицией ($T_{набл}$=7,30> $T_{крит}$=3,92, при p=0,001).

При этом, применение Н-критерия Крускала-Уоллиса для анализа значимости отличий между выборками популяционного риска в трех бассейнах подземных вод показало, что наблюдается статистически значимая разница между некоторыми рядами изучаемой переменной PCR: $\chi 2(2)$ = 13,15, p=0,001, со средним ранговым баллом 15,08 для Нижневолжского бассейна, 9,5 для Северо-Прикаспийского, 3,92 для Рын-Песковского бассейнов. Апостериорный тест Данна подтвердил значимые отличия средних рангов в паре «Нижневолжский/Рын-Песковский бассейны».

Необходимо отметить, что в нашей работе не оценивалась перкутанная экспозиция хлороформа, что может быть интерпретировано как фактор неопределенности в трактовке результатов исследования. Однако по имеющимся в литературе данным, на долю среднесуточной дозы $CHCl_3$, поступающего через кожу при принятии душа, приходится менее 2,5% от общей дозы получаемого населением токсиканта (Иксанова и др., 2006; Унгуряну, 2011; Турбинский и др., 2015).

4.1.3. Оценка риска возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов у потребителей подземных вод

Для оценки органолептического риска (возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов), нами применялась беспороговая методика с предварительным расчетом пробит-регрессии и последующим определением риска при нормальном распределении вероятностей (МР 2.1.4.0032-11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности»). Подробные данные о расчетных формулах пробит-регрессии, применяемых в эколого-токсикологических исследованиях, приведены в главе 2.

Выбор изучаемых показателей качества воды для оценки их вклада в формирование ольфакторных эффектов основывался на рекомендациях к определению «приоритетных компонентов природного происхождения с высокой вероятностью обнаружения повышенных концентраций в подземных водах», изложенных в СанПиН 2.1.3684-21. Такие показатели качества, как общее железо, марганец, сульфаты и хлориды нормируются по органолептическому лимитирующему признаку вредности и, согласно актуальным санитарно-эпидемиологическим требованиям, должны быть включены в перечень анализируемых показателей при анализе воды из источников с терригенными водоносными породами, характерными для преимущественно аллювиальных гидрогеологических бассейнов волгоградского Заволжья (Приложение А). Вследствие неоднородности пространственного распределения соединений марганца, железа, сульфатов и хлоридов, содержание данных токсикантов было проанализировано нами по верхнему уровню 95% доверительного интервала.

Согласно рекомендациям ВОЗ, в органолептическом плане вода должна удовлетворять более 90% потребителей (WHO, 2022). Биологический смысл психофизического закона Вебера-Фехнера определил возможность анализа пороговых значений концентраций общего железа (Fe), марганца

(Mn), хлоридов (Cl^-) и сульфатов (SO_4^{2-}) при которых потребители заметят посторонний запах и привкус в воде (табл. 9). Кумулятивная функция распределения (*Ф*) соответствовала процентному значению риска (вероятности возникновения ольфакторных эффектов) (Trevan, 1927).

Таблица 9 — Результаты расчета органолептических рисков по органолептически значимым показателям качества подземных вод Заволжья Волгоградской области

Бассейны подземных вод III порядка	Годы СГМ*	*Probe* (z)				Риск *Ф*(z)			
		SO_4^{2-}	Cl^-	Fe	Mn	SO_4^{2-}	Cl^-	Fe	Mn
Нижневолжский	2017	-1,65	-1,85	0,12	-4,83	0,0495	0,0322	0,5478	8e-5
	2018	-1,48	-2,40	-0,27	-4,64	0,0694	0,0082	0,3936	9e-5
	2019	-1,85	-2,90	-1,23	-5,83	0,0323	0,0019	0,1093	7e-6
	2020	-0,82	-1,29	-0,38	-4,83	0,2061	0,0985	0,3520	8e-5
	2021	-1,88	-2,05	-0,77	-4,94	0,0301	0,0202	0,2206	1e-6
	2022	-2,61	-2,81	-2,32	-5,05	0,0045	0,0025	0,0104	2e-6
Северо-Прикаспийский	2017	-0,95	-2,86	-0,29	-6,64	0,1711	0,0021	0,3859	2e-7
	2018	-1,90	-2,48	0,89	-2,16	0,0287	0,0066	0,8133	1e-2
	2019	-2,09	-2,65	-0,41	-5,18	0,0183	0,0040	0,3409	3e-6
	2020	-0,89	-1,55	-0,22	-2,28	0,1867	0,0606	0,4129	1e-2
	2021	-2,03	-2,14	-0,69	-2,55	0,0212	0,0162	0,2451	5e-3
	2022	-3,32	-3,43	-1,55	-6,31	0,0006	0,0003	0,0606	3e-7
Рын-Песковский	2017	-2,01	-1,63	-0,43	-3,73	0,0222	0,0561	0,3336	4e-5
	2018	-2,01	-1,89	-1,12	-4,25	0,0222	0,0294	0,1112	3e-5
	2019	-2,03	-2,73	-1,86	-4,73	0,0107	0,0032	0,0314	8e-5
	2020	-1,07	-1,81	-0,58	-1,97	0,1423	0,0351	0,2810	2e-2
	2021	-2,15	-2,03	-0,95	-3,88	0,0158	0,0212	0,1711	3e-6
	2022	-3,07	-3,36	-2,20	-5,18	0,0011	0,0004	0,0132	1e-6

*Исходные данные о концентрациях веществ представлены в Приложении А

Итоговое значение риска ольфакторных эффектов оценивалось нами путем выбора наибольшего значения из четырех выборок величин (SO_4^{2-}, Cl^-, Fe, Mn) на основе специфики физиологии рецепторов человека, определяющих рефлекторные ответы на органолептические раздражители (согласно закону Вебера-Фехнера) (Пинигин и др., 2001).

Нами было установлено, что вклад марганца и хлоридов в вероятность возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов является незначимым:

ни в одном из наблюдаемых случаев величина риска по этим веществам не превышала 2,00% и 9,85% соответственно. Вместе с этим, нами было зарегистрировано превышение предельно-допустимых концентраций сульфатов (до 2,15 ПДК) в подземных водах изучаемого региона, что объясняется их карбонатно-сульфатно-терригенной природой. Уровень органолептического риска, ассоциированный с сульфатами, превышал установленные ВОЗ границы (14,23-20,61%) в 2020 году на территории всех трех бассейнов подземных вод, а также в 2017 году (17,11%) в зоне залегания Северо-Прикаспийского бассейна.

Уровни риска, формируемые общим железом, в каждом из отчетных годов СГМ превышали аналогичные показатели, ассоциированные с содержанием сульфатов. Показатели возможности возникновения ольфакторных эффектов превышали пороговое значение ВОЗ (>10%) в 77,78% из рассмотренных в таблице 9 случаев. Максимальное значение вероятности обнаружения потребителями постороннего запаха/привкуса в воде (81,33%) отмечалось в 2018 году в зоне Северо-Прикаспийского бассейна, относящегося к Старополтавскому административному району Волгоградской области при значении показателя общего железа в 7,43 ПДК (по верхней границе 95% ДИ). Таким образом, согласно закону Вебера-Фехнера, именно общее железо является показателем, определяющим ольфакторный риск в исследуемом регионе. Однако, принимая во внимание пестроту геоморфологических и литологических особенностей аридного Заволжья, в условиях потребления воды из источников, благополучных по содержанию общего железа, вклад сульфатов в изучаемый феномен также является значимым.

4.2. Оценка риска здоровью, обусловленного потреблением подземных вод из нецентрализованных источников водоснабжения

Обеспеченность жителей сельских поселений доброкачественной питьевой водой – актуальная проблема для населения аридных зон Волгоградской области. Централизованное водоснабжение доступно лишь 33% жителей Заволжья, при этом 40,7% из них регулярно потребляют недоброкачественные подземные воды. По данным Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области, 80,8% территории изучаемого региона относится к землям сельскохозяйственного назначения (по состоянию на 2023 год), что обуславливает повышенную антропогенную нагрузку на неглубокозалегающие подземные воды. Отсутствие зон санитарной защиты, сильная природная засоленность подземных вод, неразработанность мероприятий по водоподготовке, а также выраженный аридный климатический тренд усугубляют медико-экологическую ситуацию и актуализируют оценку рисков здоровью населения, потребляющих воду из нецентрализованных источников (Попова, Колпакова, 2018; Православнова, 2022).

В связи с этим, нами была проведена поперечная оценка риска здоровью, основанного на расширенном списке перорально поступающих с водой токсикантов, специфичных для определенных зон Заволжья. Методология подбора загрязнителей для анализа качества нецентрализованных источников водоснабжения представлена нами в главе 2.

Приволжская песчаная гряда (зона Быковского и Николаевского районов) – наиболее густонаселенная территория Заволжья Волгоградской области, географически прилегающая к бассейну Волгоградского водохранилища. Основными источниками антропогенного загрязнения подземных вод здесь являются хозяйственные пруды: пруд-испаритель «Большой лиман», пруды-накопители и пруды-испарители промстоков ООО

«ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», а также многочисленных промышленных и агрохозяйственных предприятий Южного промузла Волгограда. Данные предприятия формируют постоянный риск загрязнения подземных вод токсикантами различной химической природы, характеризующимися способностью к накоплению, а также обладающими кумулятивным эффектом действия на организм человека.

Анализ результатов социально-гигиенического мониторинга, представленных в ежегодных отчетах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Волгоградской области», также обнаружил существенный разброс количества нестандартных проб в диапазоне 9,1 – 90,2% (пределы превышения: 1,1 – 5,0 ПДК) в различных реперных точках Быковского района. Аналогичный показатель для второго административного района, также расположенного в зоне залегания ППГ, составил 8,3 – 91,6% проб со значениями общей жесткости от 1,1 до >5,1 ПДК. Данный феномен объясняется залеганием ряда пресноводных линз на территории Приволжской песчаной гряды (широта с. Катричев – с. Луговая пролейка) на фоне общего высокоминерализованного характера заволжских рассолов (Абрамкин, 2016).

Комплексный анализ рисков (HQ) выявил значительную роль превышенных концентраций бора в формировании общей картины развития хронической интоксикации как для взрослого населения (усредненный период экспозиции – 30 лет; HQ=5,00), так и для детей (усредненный период экспозиции - 6 лет; HQ=2,14). Также отмечены допустимые индивидуальные уровни риска, ассоциированные с содержанием общего железа для взрослых/детей (HQ=0,26/0,62) и нитратов (HQ=0,27/0,48). Учитывая высокие содержания бора и солей железа в глинистых породах, можно сделать вывод о том, что и литологические факторы оказывают значительное влияние на превышение концентрации данных элементов в подземных водах. В отдельных пробах отмечалось превышение ПДК содержания алюминия, кадмия, бария, никеля и цинка, однако рассчитанные индивидуальные риски

хронической интоксикации при пероральном поступлении данными веществами являются «целевыми», не вызывающими беспокойства. Стоит отметить возможность развития аллергических реакций, вызванных сочетанным действием комплекса металлов (Wolf et al., 2017; Langan, 2009). Концентрации бериллия, меди, молибдена, тяжёлых металлов и селена находились на уровне обычных природных уровней (табл. 10).

Таблица 10 — Показатели индивидуального и суммарного неканцерогенного риска обнаруженных токсикантов при пероральной экспозиции

Химические вещества	Концентрация по верхней границе 95% ДИ, мг/дм^3	Критические системы организма	Неканцерогенный риск HQ	
			Взрослые	Дети
Алюминий	0,02	ЦНС	5,48 E-4	13,33 E-4
Аммиак	0,05	-	1,5 E-3	3,4 E-3
Барий	0,1	Почки, серд.-сос. сист.	0,04	0,09
Бериллий	0,0001	ЖКТ	1,42 E-3	3,33 E-3
Бор	1,5	Репрод., ЖКТ	2,14	5,00
Железо	2,8	Слизист., кожа, кровь	0,26	0,62
Кадмий	0,001	Почки, гормон.	0,05	0,13
Медь	0,001	ЖКТ, печень	1,50 E-3	3,50 E-3
Молибден	0,001	Почки	2,38 E-3	5,55 E-3
Мышьяк	0,002	Кожа, ЦНС, ЖКТ	0,19	0,44
Никель	0,013	Печень, ЖКТ, серд.-сос. сист.	0,02	0,04
Нитраты	11,98	Кровь (MetHb), сер.-сос. сист.	0,27	0,58
Ртуть	0,00005	Почки, ЦНС, горм	4,74 E-3	11,11 E-3
Свинец	0,0001	ЦНС, кровь, репрод.	8,16 E-4	19,04 E-4
Селен	0,0007	Кожа, печень	4 E-3	9,33 E-4
Стронций	0,43	Кости	0,02	0,05
Фенолы	0,0005	Органы дыхания	4,7 E-4	11,10 E-4
Цианиды	0,01	Нервн. сист. гормон.	1,42 E-3	33,33 E-3
Цинк	0,0005	Кровь	4,7 E-4	11,10 E-4
Суммарный неканцерогенный риск HI			2,85	6,62

Суммарный неканцерогенный риск (HI) обнаруженных в воде системо- и органотропных экотоксикантов с их распределением по критическим системам показывает значительное превышение предельно допустимых порогов по репродуктивной (2,20/5,20) и пищеварительной системам (2,23/5,27), а также по процессам эмбриогенеза (2,14/5,00). Данное обстоятельство объясняется эмбриотоксическим эффектом бора, а также развитием выраженных расстройств половой сферы (семенники) при длительном употреблении боризбыточных вод. Помимо этого, длительное (превышение риска отмечено именно при 30-летней усредненной экспозиции) употребление бора способно вызывать широкий спектр желудочно-кишечных расстройств, в том числе борный энтерит. В меньшей степени способствует развитию нарушений обменных процессов, заболеваний ЦНС и почек (Закутин, Вавичкин, 2010; Клейн, Вековшинина, 2020).

Опасный уровень риска развития хронических эффектов по сердечно-сосудистой системе для детей (1,28) связан с комбинированным действием нитратов (метгемоглобинобразованием, а также с действием конечного продукта преобразования нитратов в организме человека - нитрозоамины), железа, бария и никеля. Значительный уровень риска, обусловленный употреблением нитратов связан преимущественно с нерациональной утилизацией отходов агропромышленных комплексов и интенсивным ведением сельского хозяйства при общем недостатке наличия зон санитарной защиты (Беляев и др., 2002).

В воде, потребляемой населением Приволжской песчаной гряды обнаружен ряд веществ, обладающий канцерогенным потенциалом: бериллий, кадмий, мышьяк, свинец, хлорфенолы, хром(VI), 2,4-Д кислота, гексахлоран, 2,2-бис(п-хлорфенил)-1,1-дихлорэтилен (Carpenter, Bushkin-Bedient, 2013). Оценка индивидуального пожизненного канцерогенного воздействия производилась с использованием усредненной экспозиции,

равной 70 годам. При этом нами отбирались загрязнители, ассоциированные с территориями экстенсивного ведения сельского хозяйства (табл. 11).

Таблица 11 — Показатели индивидуального и суммарного канцерогенного риска при пероральной экспозиции

Химические вещества	Концентрация 95% ДИ, мг/ дм^3	Фактор канцерогенного потенциала SFO	Канцерогенный риск CR
Бериллий	0,0001	4,300	2,73E-7
Кадмий	0,0010	0,380	3,09E-5
Мышьяк	0,0020	1,500	1,56E-5
Свинец	0,0001	0,047	2,49E-5
Хлорфенолы	0,0005	0,120	4,89E-5
Хром(VI)	0,0300	0,420	8,38E-4
2,4-Д кислота	0,0002	0,019	1,23E-4
Гексахлоран	0,0003	1,800	1,96E-6
ДДТ	0,0001	0,340	3,45E-6
Суммарный канцерогенный потенциал CI			1,08E-3

Суммарный канцерогенный потенциал (CI) оказался на уровне опасных диапазонов (5,07E-4), что требует разработки и проведения дополнительных оздоровительных мероприятий со стороны государственных органов надзора в сфере социального благополучия населения. При этом необходимо отметить, что все вещества были обнаружены в воде в концентрациях, значительно уступающих предельно допустимым значениям, установленным Государственной системой санитарно-эпидемического нормирования РФ. В общей структуре риска для взрослых наиболее значимым веществом является хром (77,59%) и 2,4-Дихлорфеноксиуксусная кислота (11,38%). Для детей, помимо хрома (77,12%), значимый вклад в формирование канцерогенного риска вносят кадмий (2,84%), свинец (2,29%) и хлорфенольные соединения (4,50%).

Палласовский район (в зоне залегания Нижневолжского бассейна) представляет собой наибольшую административно-территориальную единицу Волгоградской области с площадью 12361,1 км^2. Ввиду низкой плотности населения (3,15 чел./км^2) и сельскохозяйственного характера экономики района, источникам загрязнения подземных вод свойственен

главным образом абиотический характер. Локально ограниченные факторы антропогенной нагрузки на подземные воды преимущественно связаны с животноводством: племенными заводами «Ромашковский», «Палласовский», «Красный Октябрь». По причине значительной территориальной удаленности сельских поселений друг от друга, низкого процента урбанизации района (38,3%), а также доминирующего вклада животноводства в сельскохозяйственном секторе экономики Палласовского района, для анализа нами был сформирован список токсикантов, не учитывающий деятельность тяжелой и химической промышленности, а также пестицидную нагрузку (табл. 12).

Таблица 12 — Показатели неканцерогенной опасности обнаруженных в воде приоритетных загрязнителей

Химические вещества	Концентрация 95 % ДИ, мг/дм^3	Критические системы	Неканцерогенный риск, HQ	
			Взрослые	Дети
Мышьяк	0,005	Кожа, ЦНС, ЖКТ	0,476	1,111
Железо	6,390	Слизист., кожа, кровь	0,608	1,420
Фтор	0,210	Кости, зубы	0,100	0,230
Стронций	2,800	Кости	0,133	0,311
Бериллий	0,100	ЖКТ	1,428	3,333
Аммиак	0,500	-	0,015	0,034
Молибден	0,830	Почки	4,762	11,110
Кальций	186,0	Почки	0,130	0,302
Марганец	0,005	ЦНС, кровь	0,001	0,002
Магний	90,00	-	0,234	0,545
Натрий	625,0	Серд.-сос. сист.	0,525	1,225
Нитраты	4,600	Кровь (MetHb), сер.-сос. система	0,082	0,195
Суммарный неканцерогенный риск HI			8,494	19,818

Суммарный неканцерогенный риск хронического поступления токсикантов (HI), рассчитанный с использованием стандартных факторов экспозиции, составил для взрослых HI = 8,494 и для детей HI = 19,818. Приведенные в таблице 12 показатели HQ свидетельствуют о том, что наибольший вклад в формирование риска вносят молибден и бериллий.

Показатель неканцерогенной опасности молибдена для детей достигал 11,1, что позволяет характеризовать его как высокий, для взрослых 4,8 — средний. Риски, формируемые бериллием для взрослых HQ = 1,4 и детей HQ = 3,3, находились в пределах средних значений. Помимо двух указанных веществ, средним уровнем риска характеризовались для детей мышьяк (HQ = 1,1), железо (нормируется преимущественно по органолептическому показателю вредности) (HQ = 1,4) и натрий (HQ = 1,2), для взрослых риски, обусловленные данными элементами, находились в области низких величин. Необходимо отметить, что в отдельных пробах показатели неканцерогенной опасности, формируемые железом и натрием, превосходили кларковые в несколько раз. Риски, ассоциированные с другими проанализированными токсикантами, определялись как низкие или допустимые (целевые).

Токсическое действие молибдена преимущественно связано с пероральным поступлением этого вещества, так как содержание его в атмосферном воздухе минимально. Как правило, накопительные свойства молибдена зависят от степени растворимости обнаруженной формы и выражены недостаточно сильно вследствие быстрой выводимости его из организма, однако при длительном поступлении этот металл может аккумулироваться в почках (Gretarsdóttir et al., 2016). При значительных дозах поступления молибден способен вызывать дегенерацию тестикул, потерю веса, а также является софактором развития подагры и анемии из-за способности стимулировать образование ксантиноксидазы, значимой для процесса связывания ферментами-трансферазами железа (Stafford et al., 2016; Diamantino et al., 2000). Бериллий наиболее опасен при ингаляторной экспозиции, вызывая бериллиоз, однако при хроническом пероральном поступлении в растворимой форме способен раздражать слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и связывать в кишечнике ионы фосфорной кислоты, образуя неусвояемый фосфат бериллия, тем самым ингибируя щелочные фосфатазы и аденозинтрифосфатазы (Ercan, 2001). Со стороны костно-мышечной системы бериллий разрушает фосфат кальция,

образуя нерастворимый трехвалентный оксид, что ведет к развитию бериллиевого рахита. Помимо этого, в литературе отмечен канцерогенный и мутагенный эффект, стимуляция развития аутоиммунных процессов (Drobyshev et al., 2019). Диапазон токсического воздействия на организм мышьяка также широк: длительное поступление мышьяка в организм может вызывать канцерогенные эффекты, диабет, поражения кожи, нервной и сердечно-сосудистой систем. При попадании в ЖКТ мышьяк вызывает эрозии слизистых оболочек. В пренатальном периоде и в раннем детстве негативно сказывается на умственном развитии детей и коррелирует с более высокими показателями смертности в детском возрасте (Hughes, 2002).

С учетом основных направлений токсического воздействия наиболее опасных из проанализированных соединений были определены приоритетные критические системы, подвергающиеся риску. Наиболее высокие индексы суммарной опасности (HI) были отмечены для почек (для взрослых HI = 4,892 — средний, для детей HI = 11,412 — высокий) — в области средних и высоких величин соответственно. Низким уровнем риска характеризовались показатели неканцерогенной опасности для кожи, крови (для взрослых — 0,7, на уровне допустимого риска), желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой и иммунной систем (рис. 11). Для некоторых реперных точек, проанализированных по пробам с максимальными концентрациями токсикантов, средний уровень риска наблюдался для ЖКТ и иммунной, сердечно-сосудистой и нервной систем, обусловленный более высокими, чем кларковые, концентрациями мышьяка, магния, натрия и кальция.

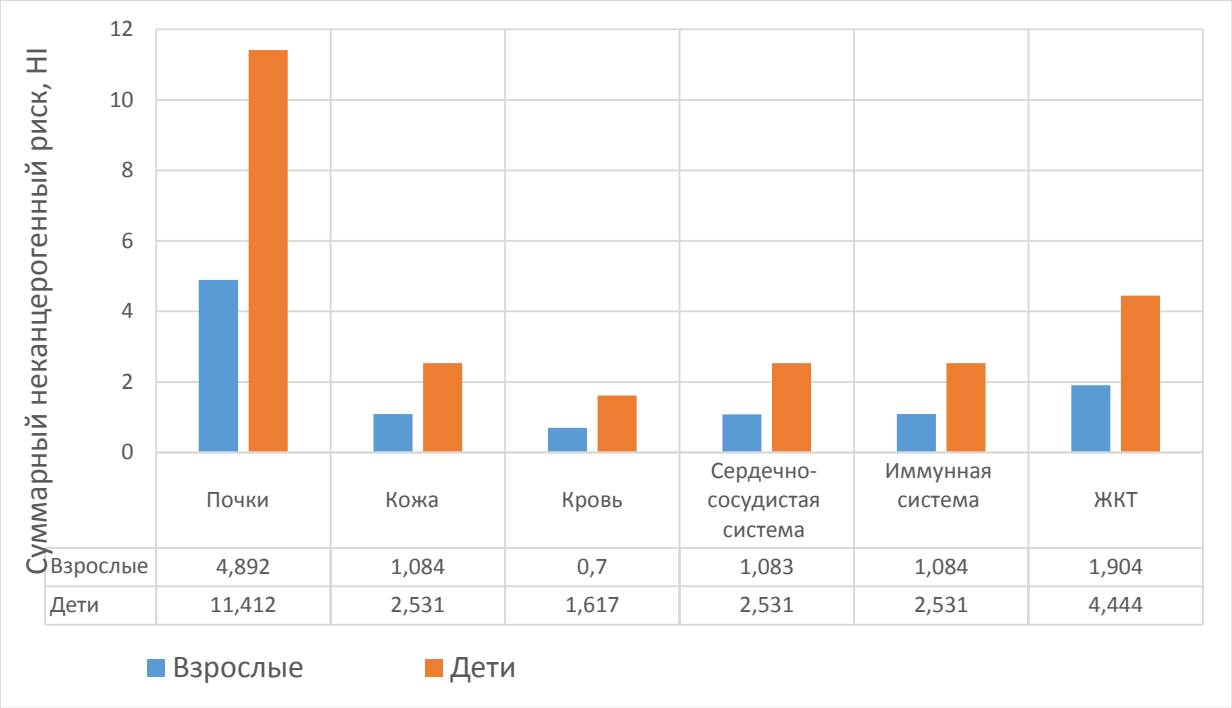


Рисунок 11 – Распределение рисков суммарных неканцерогенных эффектов (HI) по критическим системам

По результатам нашего исследования было выявлено, что основными критическими системами, подвергающимися риску неканцерогенных воздействий, являются почки, а также иммунная система, кровь и органы кровообращения, кожа и желудочно-кишечный тракт, что согласуется с результатами, представленными в релевантных источниках литературы, посвященных оценке риска здоровья населения сельских регионов (Chappells et al., 2014).

Эльтонское сельское поселение (Рын-Песковский бассейн) административно относится к Палласовскому району. Значительная часть Прикаспийской синеклизы, доминирующей в Заволжье, перекрыта четвертичными плиоценовыми морскими отложениями (N_2-Q), однако в районе озера Эльтон формируются уникальные гидрогеологические условия образования подземных вод. Здесь на поверхность выходят более древние юрские, меловые и палеоценовые породы (рис. 12). Расположенное на востоке от озера одноименное сельское поселение является одной из двух

(наряду с г. Палласовкой) наиболее крупных в районе агломераций (2723 чел.).

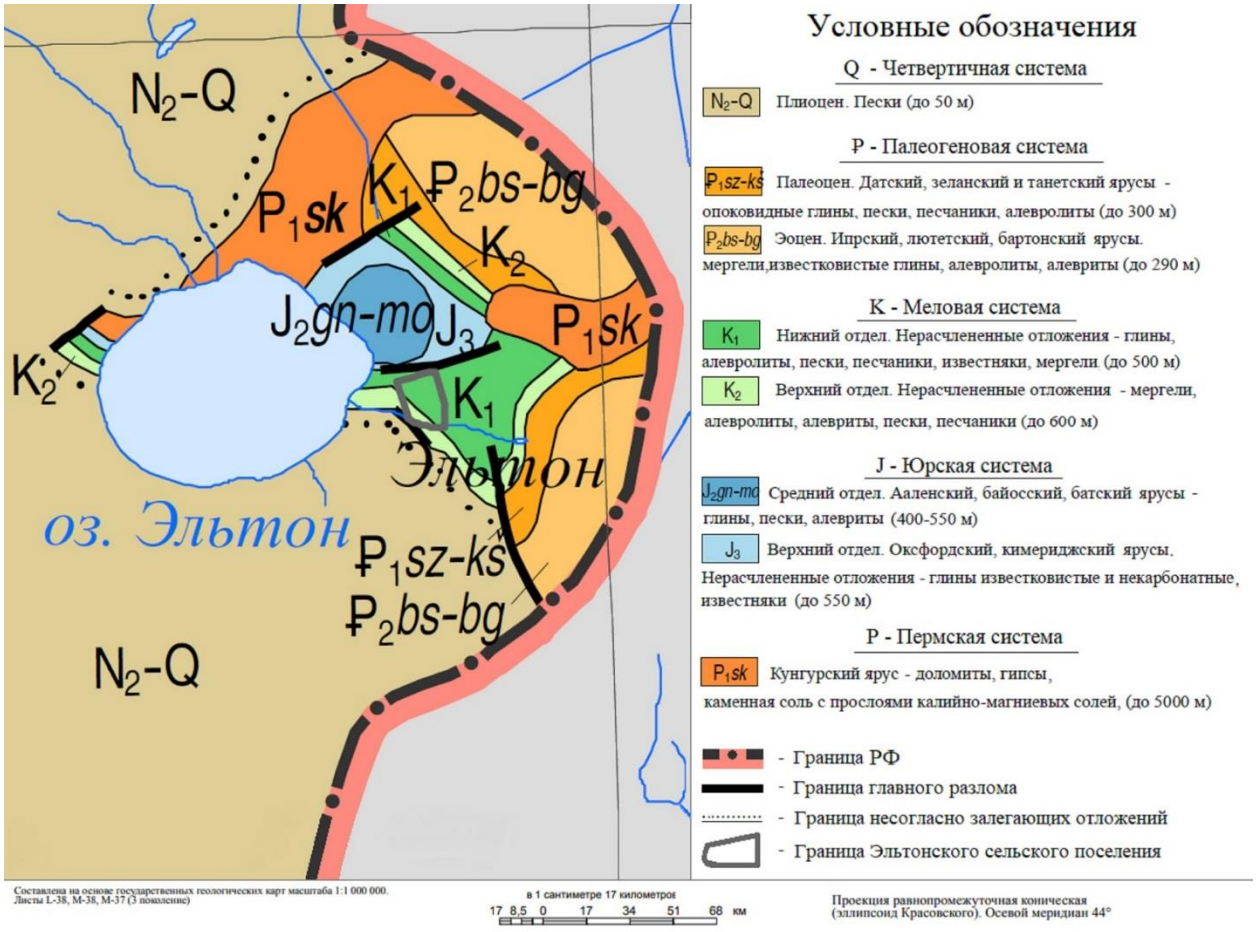


Рисунок 12 – Геологическая карта зоны Эльтонского сельского поселения

Верхний *хазарский* комплекс Приэльтонья высокоминерализован (5800-5900 мг/мд^3) и его воды непригодны для использования в хозяйственно-питьевых целях. По результатам геологоразведочных работ в залегающем ниже *апшеронском* комплексе был выявлен участок, значительно отличающийся по гидрогеохимическим показателям от доминирующего в регионе *хазарского* комплекса, что позволило оценить перспективы его использования в хозяйственно-питьевых целях (Крючков, 2011).

Подземные воды *хазарско-хвалынского аллювиально-морского* горизонта, типичного для Приэльтонья, по анионному составу являются сульфатно-хлоридными, по катионному – натриевыми, характеризуются повышенной жесткостью (в отдельных участках – до 23,2 мг-экв/дм^3).

Согласно данным, представленным в ежегодных отчетах Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области, наиболее часто на территории всего Северо-Каспийского артезианского бассейна отмечается превышение ПДК натрия, магния, железа, аммиака, хлоридов, сульфатов, а также общей минерализации и жесткости. В целом, химический состав подземных вод Приэльтонья типичен для Северо-каспийского артезианского бассейна. Однако, в большинстве проб отмечались более высокие, чем кларковые, значения содержания кальция, что может объясняться как химической природой водоносных горизонтов, так и сельскохозяйственной нагрузкой. Концентрации тяжелых металлов не превышали предельно допустимых значений (значительно ниже рефератных доз) и не являлись факторами, вносящими вклад в формирование индексов неканцерогенной опасности. По результатам анализа показателей качества питьевой воды, оцененных на верхней границе 95% ДИ по магнию (1,06 ПДК), натрию (1,63 ПДК), хлоридам (1,28 ПДК) (табл. 13).

Таблица 13 — Показатели неканцерогенной опасности обнаруженных в воде приоритетных загрязнителей

Химические вещества	Концентрация на верхней границе 95% ДИ, мг/дм^3	Критические системы	Неканцерогенный риск, HQ	
			Взрослые	Дети
Железо	0,05	Слизистые, кожа, кровь, иммун. сист.	0,005	0,01
Аммиак	0,50	-	0,0146	0,0341
Калий	6,40	-	-	-
Кальций	83,40	Почки	0,0573	0,1316
Марганец	0,005	ЦНС, кровь	0,0011	0,0021
Магний	53,40	-	0,1387	0,3236
Натрий	326,10	Серд.-сос. сист.	0,2762	0,6491
Нитраты	14,1	Кровь (MetHb), сер.-сос. система	0,2500	0,5875
Сульфаты	277,5	-	-	-
Хлориды	448,1	-	-	-
Суммарный неканцерогенный риск HI			0,742	1,738

Расчет коэффициентов опасности (HQ) отдельных загрязнителей показал низкий (кальций, магний, натрий, нитраты) или минимальный (железо, аммиак, марганец) уровень риска здоровью. Суммарный индекс неканцерогенного риска здоровью (HI) составил 0,74 (низкий) для взрослого населения и 1,74 (средний) для детей. Наибольший вклад в формирование риска здоровью взрослых/детей, обусловленного пероральным поступлением химических веществ с питьевой водой на исследуемой территории, вносили нитраты (HQ=0,2500/0,5875) и натрий (HQ=0,276/0,649).

Таким образом, проведенная нами оценка риска здоровью, обусловленного потреблением подземных вод из нецентрализованных источников, позволила выявить ряд территориальных особенностей развития неблагоприятной медико-экологической ситуации: в зоне Приволжской песчаной гряды риск формируется преимущественно за счет превышения референтных доз бора, нитратов и мышьяка (основная критическая система – почки). В Палласовском административном районе риск обусловлен пероральным поступлением мышьяка, бериллия, молибдена и нитратов (критические системы: почки, желудочно-кишечный тракт). В зоне Эльтонского сельского поселения риск ассоциирован с веществами, формирующими природный минеральный состав подземных вод (кальций, магний, натрий), а также с нитратами; неканцерогенной опасности подвергаются преимущественно такие критические системы как кровь и почки.

4.3. Управление риском здоровью, ассоциированным с поступлением токсикантов из подземных вод аридных территорий Юга России (на примере волгоградского Заволжья)

4.3.1. Прогнозирование многолетней динамики неканцерогенного риска

Глобальная тенденция к усилению засушливости – острая проблема, требующая постоянного внимания надзорных органов в сфере здравоохранения. Дефицит атмосферной влаги и положительный температурный тренд способны оказывать негативное влияние на различные показатели качества водных объектов, привести к истощению ресурсов как поверхностных, так и подземных источников водоснабжения. Поскольку обеспеченность доброкачественной питьевой водой относится к числу фундаментальных факторов, определяющих санитарно-эпидемиологическое благополучие населения, то анализ вклада климатических факторов в риск здоровью, этиологически связанный с потреблением некондиционных вод, является актуальным направлением в проектировании административных мероприятий и принятии дальнейших управленческих решений (Stavi et al., 2021; Jutglar et al., 2021).

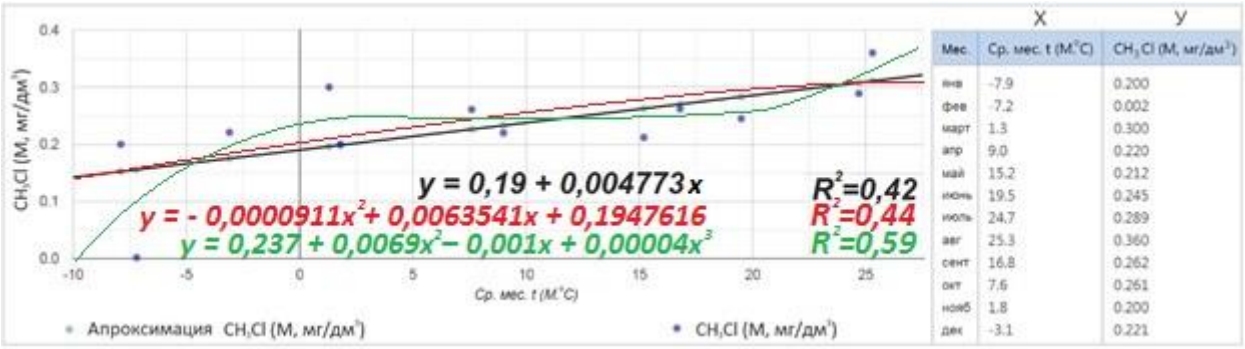
В многолетнем мониторинге засух, значимых для химического состава подземных вод, большим потенциалом обладают методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Методы геоэкологического мониторинга позволяют осуществлять исследования в камеральных условиях, что существенно облегчает изучение труднодоступных аридных территорий. Расчет спутниковых индексов позволяет снизить временные и финансовые затраты на получение необходимой информации (Джамали, Хейдаризади, 2022). Включение отдельных показателей, определенных с помощью технологий ДЗЗ, в процедуру социально-гигиенического мониторинга должно отвечать экологическим особенностям изучаемого региона (Адамович, Ашихмина, 2017). Помимо этого, при отборе необходимо

учитывать доступность входных данных, необходимых для расчета того или иного индекса. Согласно ранжированию Всемирной метеорологической организации, спутниковые вегетационные индексы относятся к «простым» индикаторам засухи. Климатические показатели, основанные на функции взаимодействия осадков с температурой, определяются как маркеры аридности «средней» сложности (Студеникина и др., 2019).

В связи с этим, нами был произведен анализ потенциала спутникового и климатического показателей засушливости в прогнозировании рисков здоровью. Для этого была построена мультифакторная регрессионная модель долгосрочной динамики рисков здоровью, связанных с пероральным поступлением засухозависимых токсикантов из подземных вод аридных зон волгоградского Заволжья. Статистическая валидизация модели была направлена на оценку возможности внедрения новых предикторов многолетней динамики рисков здоровью в процедуру мониторинга качества среды обитания человека с дальнейшим принятием управленческих решений на основе модернизированной технологии ведения СГМ.

Учитывая вероятность существования антропогенных причин превышения предельно допустимых концентраций хлороформа в виде избыточного хлорирования воды, нами была проанализирована взаимосвязь между среднемесячными концентрациями данного вещества в системах централизованного водоснабжения и температурой воздуха в диапазоне 2017 – 2022 гг. Полученная нами в ходе статистического анализа прямая значимая корреляционная связь между результативным признаком (концентрация хлороформа) и тепловым состоянием окружающей среды по уравнению линейной регрессии ($r=0,65$, $p=0,021$) валидизирует нашу гипотезу о влиянии показателей засухи на качество подземных вод. При этом расчет нелинейной полиномиальной регрессии приводил к улучшению качества модели. В случае квадратичной регрессии коэффициент корреляции был равен 0,66 ($p=0,016$), для кубической $r=0,77$ ($p=0,004$) (рис. 13). Этот феномен свидетельствует о наличии предела влияния теплового фактора на рост

концентрации хлороформа, по достижении которого вклад температуры воздуха перестает быть значим, что хорошо согласуется с высокой летучестью хлороформа.



	X	У
Мес.	Ср. мес. t (M,°C)	CH_3Cl (M, мг/дм³)
янв	-7.9	0.200
фев	-7.2	0.002
март	1.3	0.300
апр	9.0	0.220
май	15.2	0.212
июнь	19.5	0.245
июль	24.7	0.289
авг	25.3	0.360
сент	16.8	0.262
окт	7.6	0.261
нояб	1.8	0.200
дек	-3.1	0.221

Рисунок 13 – Графическое представление линейной аппроксимации концентраций хлороформа в зависимости от динамики температуры

В ряде источников утверждается прямое влияние температуры на величину образования хлорорганических соединений при хлорировании (Хлыстов и др., 2020; Иксанова и др., 2006; Егорова и др., 2013). Помимо этого, в науке существуют данные о зависимости испаряемости хлороформа из воды от температуры как жидкой, так и газообразной фазы в процессе дезинфекции (Каратаев, 2009; Унгуряну, 2011). Данное обстоятельство снимает фактор неопределенности, связанный с наличием антропогенного вклада в изменение химического состава воды, поступившей в централизованные системы водоснабжения, и позволяет продолжить оценку влияния динамики аридности на качество подземных вод региона.

Принимая во внимание значимые отличия между показателями неканцерогенного риска в разные годы и гидрогеологические особенности волгоградского Заволжья, нами было произведено вычисление спутникового индекса засушливости NDMI – первого признак-фактора регрессионной модели (x_1). Для каждого из трех бассейнов III порядка был создан векторный слой для расчета зональной статистики растра с диапазоном вариации индекса от -1 (засушливые территории) до 1 (увлажненные территории). Показатель NDMI имеет более высокую степень корреляции с

геоботаническими параметрами ксерофитных сообществ (проективное покрытие, продуктивность биомассы), чем вегетационные индексы на основе NIR-RED, так как коротковолновый инфракрасный диапазон (SWIR) оперирует с количеством воды в растительности, а не с концентрацией хлорофилла в ней (Kasawani et al., 2010). Данное обстоятельство позволило наиболее адекватно оценить степени засушливости степных и полупустынных природных сообществ волгоградского Заволжья (рис. 14).

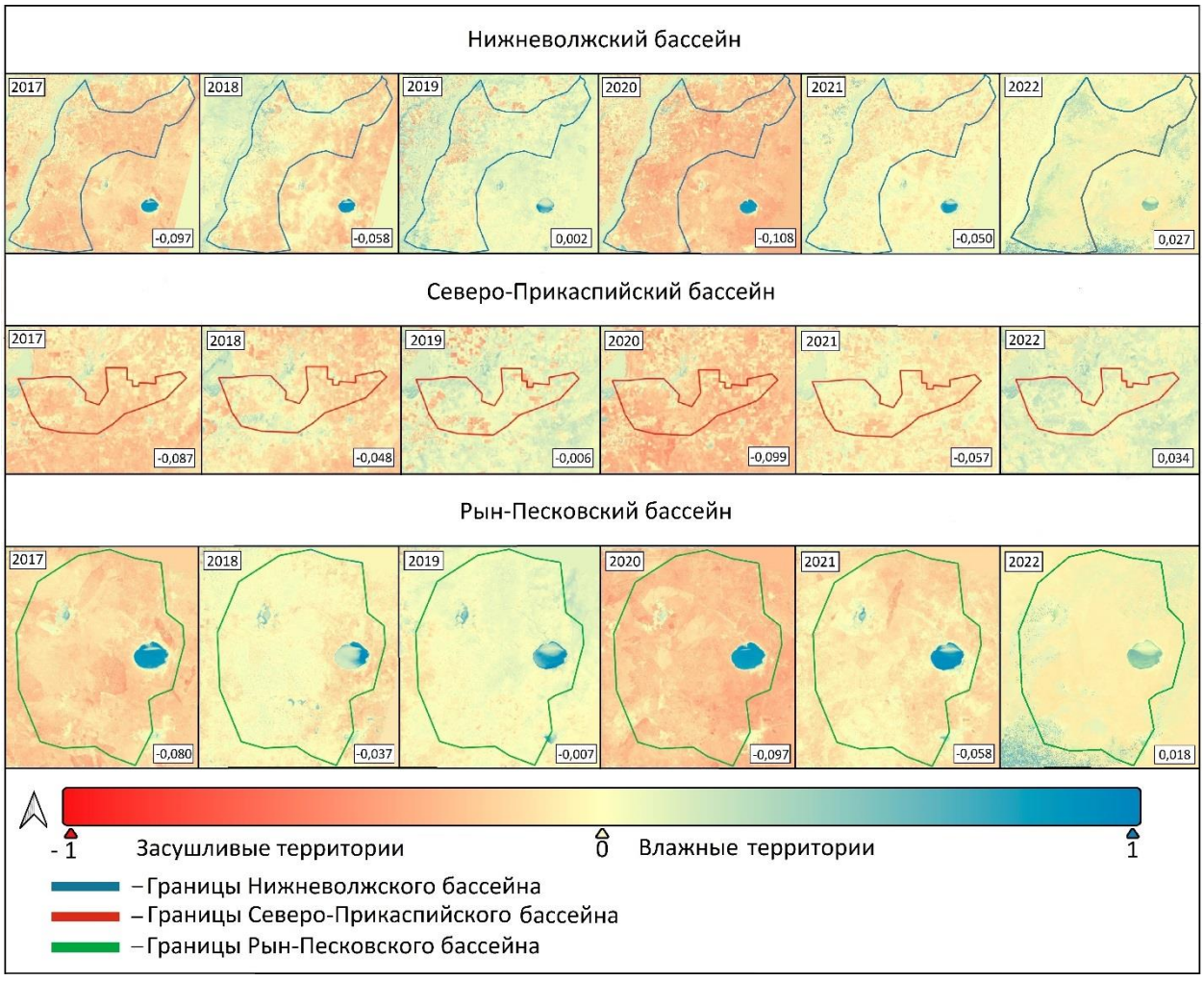


Рисунок 14 – Растровые карты бассейнов подземных вод III порядка с зональной статистикой индекса засушливости NDMI (2017-2022 гг.)

Различия между «влажным» 2019 годом и засушливым 2020 годом оказались достоверными при $p < 0,05$ для связанных выборок ($T_{набл}=9,70>Tк_{рит}=4,30$), динамика NDMI в диапазоне 2020–2022 гг. также

продемонстрировала достоверные отличия изучаемого показателя ($T_{набл}$=21,50>$T_{крит}$=9,39, p <0,01).

Для определения второго признак-фактора (x_2) нами был произведена модификация расчетной формулы индекса де Мартонна с использованием зональной статистики по спутниковому показателю LST, заключающаяся в замене среднемесячных температур воздуха на усредненные температуры земной поверхности для каждого из трех бассейнов подземных вод. При выводе итогового изображения растра, индивидуальные для каждого месяца метаданные снимков были трансформированы в среднегодовое значение (рис. 15).

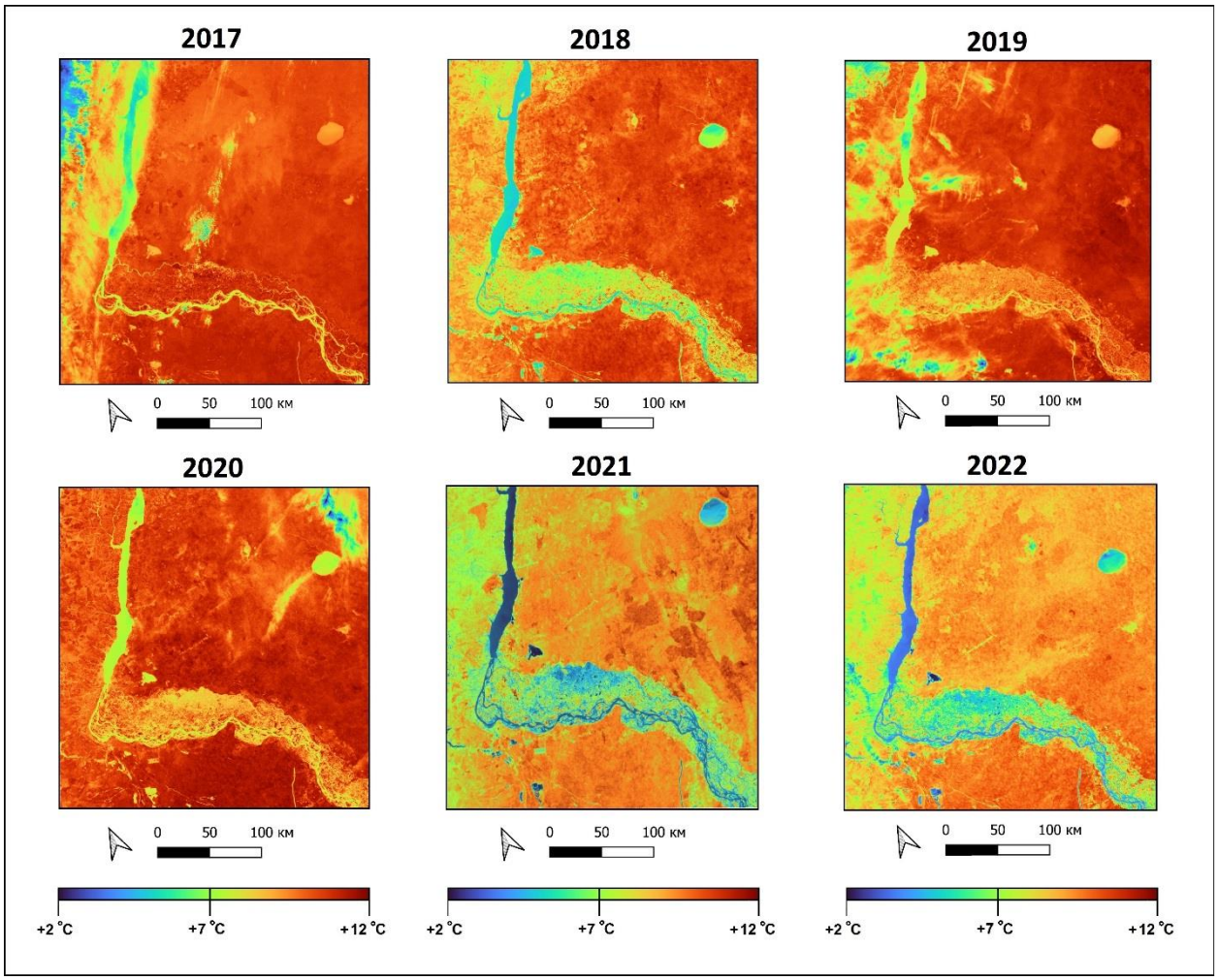


Рисунок 15 – Растровые карты показателя LST в волгоградском Заволжье (2017-2022 гг.)

Полученные значения суммарных рисков здоровью, NDMI, DMI, а также взаимосвязь между изучаемыми явлениями приведены в таблице 2. Между предикторами и зависимой переменной существует обратная связь: снижение значений влияющих факторов свидетельствует о росте аридности, что способствует росту концентраций токсикантов в воде и ассоциированных с ними рисков здоровью.

Нами были выявлены высокие корреляционные связи между показателями засушливости и рисками развития неканцерогенных эффектов для трех бассейнов подземных вод. Во всех случаях значения $r_{y,x1,x2}$ превышали 0,8 по шкале Чеддока, при этом признак-факторы определяли от 82,8% до 98,4% дисперсии результативного признака. Проверка выборок-предикторов NDMI (x_1) и DMI (x_2) на мультиколлинеарность подтвердила адекватность включения двух изучаемых признак-факторов в прогностическую регрессионную модель риска по трем бассейнам подземных вод (в каждом из рассматриваемых случаев VIF <2,5). Однако необходимо отметить, что анализ частных коэффициентов регрессии выявил больший вклад предиктора NDMI в изменение зависимой переменной y (∑HI), чем индекс де Мартонна. Минимальные значения $r_{yx2/x1}$ в генеральной совокупности наблюдений за всеми бассейнами III порядка составили -0,020, p=0,177 (Нижневолжский бассейн, взрослые), максимальные — -0,554, p=0,105 (Рын-Песковский, дети); минимум $r_{yx1/x2}$=-0,823, p=0,012 (Северо-Прикаспийский, взрослые), максимум — -0,984, p=0,002 (Рын-Песковский, взрослые). Примечательным также является наличие высоких корреляционных связей между процентным вкладом хлороформа в ∑HI и многолетней динамикой засушливости по индексу NDMI. Минимальные значения коэффициентов парной корреляции по этим показателям составляли -0,689 (p=0,130), максимальные же достигали -0,829 (p=0,041), в то время как для DMI и хлороформа не было зарегистрировано статистически достоверных связей ни в одном из изучаемых случаев.

На основании этих феноменов можно сделать вывод о том, что введение параметра DMI в модель приводит к незначительному росту тесноты связи между NDMI и значением суммарного неканцерогенного риска здоровью. Наблюдаемые значения t-статистики для наименьшего из коэффициентов корреляции r_{yx1} (Нижневолжский бассейн, взрослые) также свидетельствовали о значимости включения x_1 в модель ($T_{набл}=4,79>T_{крит}=3,49$) и незначимости привлечения в прогнозирование показателя x2 ($T_{набл}=3,28>T_{крит}=4,17$) при p <0,05 (табл. 14).

Таблица 14 — Множественные корреляционные связи между исследуемыми показателями и прогностическая сила модели

Бассейны подземных вод III порядка	Год	∑HI (y) взр/дет	NDMI (x_1)	DMI (x_2)	Коэффициент множественной корреляции ($r_{y,x1,x2}$) взр/дет	Коэффициент детерминации R^2 взр/дет	Коэффициент Тейла V взр/дет	*p* взр/дет
Нижневолжский	2017	2,34/5,43	-0,097	15,32	-0,939/ -0,925	0,881/ 0,846	0,014/ 0,020	0,005/ 0,009
	2018	1,27/2,63	-0,058	16,36				
	2019	1,10/2,20	0,002	14,13				
	2020	2,13/4,93	-0,108	10,77				
	2021	1,58/3,67	-0,050	19,89				
	2022	0,72/1,72	0,027	23,30				
	t_{10}	**5,59/13,12**	**-0,420**	**-**				
Северо-Прикаспийский	2017	1,64/4,10	-0,087	22,12	-0,909/ -0,942	0,828/ 0,887	0,016 /0,011	0,012/ 0,006
	2018	1,24/2,89	-0,048	20,00				
	2019	1,17/2,76	-0,006	20,37				
	2020	2,25/5,23	-0,099	14,58				
	2021	1,70/3,91	-0,057	26,60				
	2022	0,78/1,84	0,034	30,77				
	t_{10}	**4,79/11,42**	**-0,400**	**-**				
Рын-Песковский	2017	2,06/4,80	-0,080	12,75	-0,992/ -0,990	0,984/ 0,980	0,002/ 0,002	<0,001/ <0,001
	2018	1,51/3,46	-0,037	13,44				
	2019	1,04/2,42	-0,007	14,05				
	2020	2,45/5,74	-0,097	8,88				
	2021	1,65/3,78	-0,058	19,80				
	2022	0,81/1,89	0,018	20,88				
	t_{10}	**6,67/15,56**	**-0,410**	**-**				

Прогностическая сила полученной модели была оценена с помощью коэффициента расхождения Тейла (V), в котором 0 соответствует «идеальному» прогнозированию, а приближающиеся к 1 числа

свидетельствуют о случайном экстраполировании. Полученные значения V во всех трех случаях оказались меньше 0,1, причем для Рын-Песковского бассейна коэффициент Тейла значительно приблизился к 0 и составил 0,002. Высокая прогностическая сила модели обусловила возможность построения уравнений временных трендов для предиктора x_1. Введение в уравнение множественной регрессии спрогнозированных значений NDMI позволило предсказать уровни неканцерогенного риска при сохраняющейся тенденции к аридизации Заволжья по аггравированному сценарию засухи. Доверительные интервалы 95 процентиля для горизонта прогнозирования риска t_{10} имели рамки, представленные на рисунке 16.

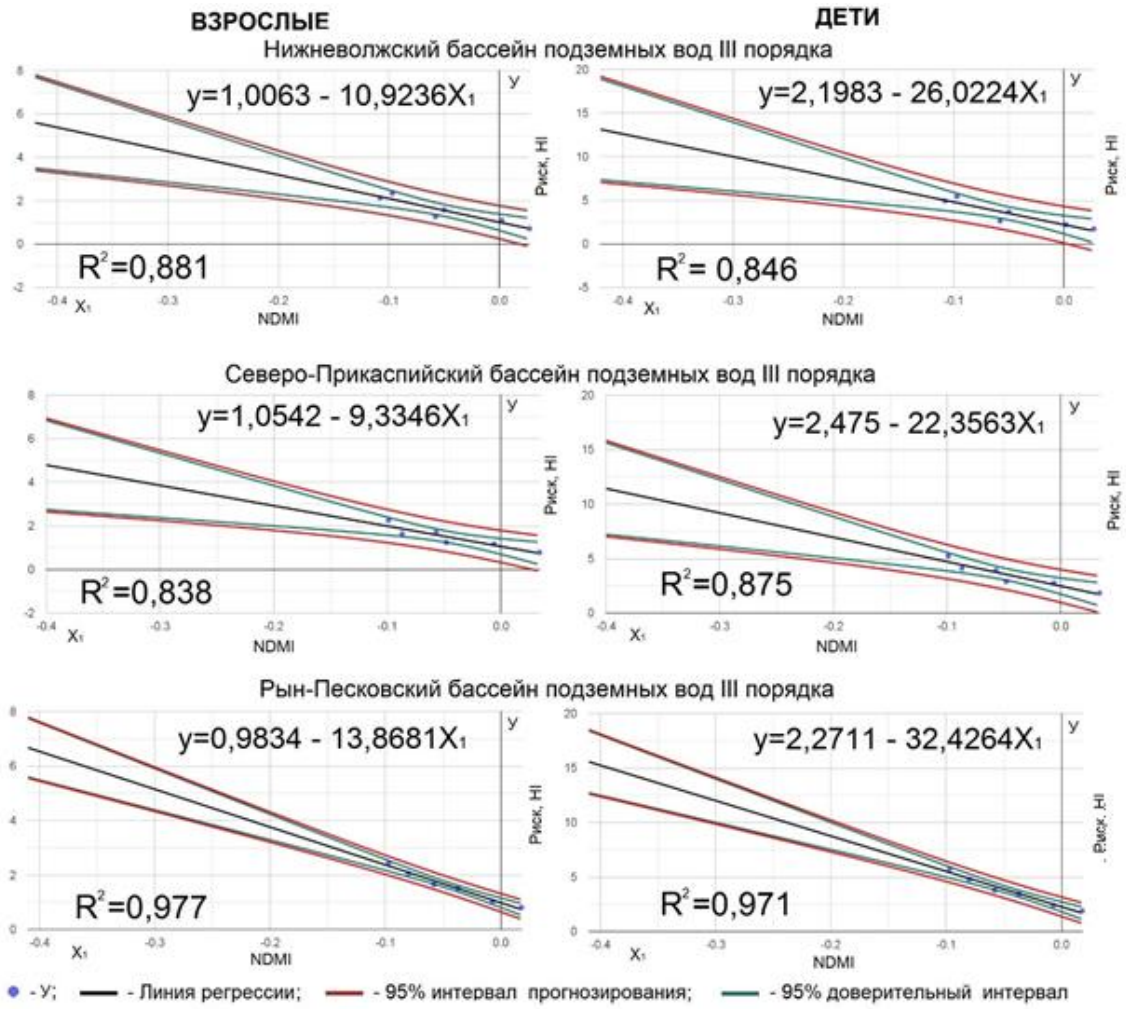


Рисунок 16 – Графическое выражение функции неканцерогенного риска здоровью (HI) от показателя засушливости NDMI

Таким образом, нами были получены прогнозные значения суммарного неканцерогенного риска для каждого из трех бассейнов подземных вод аридного Заволжья:

1. Нижневолжский бассейн: $HI_{взрослые}$ (3,50–7,69, p=0,005), $HI_{дети}$ (7,34–18,91, p=0,009);

2. Северо-Прикаспийский бассейн: $HI_{взрослые}$ (2,74–6,83, p=0,012), $HI_{дети}$ (7,22–15,62, p=0,006);

3. Рын-Песковский бассейн: $HI_{взрослые}$ (5,59–7,75, p <0,001), $HI_{дети}$ (12,72–18,40, p <0,001).

Полученные нами данные легли в основу создания искусственной нейронной сети, направленной на прогнозирование риска здоровью с помощью статистически валидизированного предиктора – спутникового индекса засухи NDMI, а также значений концентраций токсикантов и величины целевого показателя риска, определяемого как сумма отношений концентраций веществ к их референтными дозам (Приложение Г).

Нейросеть была разработана с использованием библиотеки *TensorFlow* и состоит из двух слоев нейронов: полносвязного слоя с функцией активации *ReLU* и выходного слоя. Разработка была скомпилирована с оптимизатором *Adam* и функцией потерь *MSE*. Нейронная сеть обучалась нами на данных о концентрациях веществ и целевом показателе риска в течение 100 эпох с применением метода обратного распространения ошибки с размером пакета 32, результаты прогнозирования при этом сохранялись в виде переменной *predictions*. Таким образом, созданная и обученная нами модель может использоваться для достоверного прогнозирования коэффициента неканцерогенной опасности на основе данных из тестового набора величин переменных, описывающих качество подземных вод и степень аридности (анализируемую с помощью программной обработки спутниковых снимков).

4.3.2. Прогнозирование многолетней динамики ольфакторного и канцерогенного риска

Нами были установлено, что дистанционное зондирование Земли может быть источником достоверной информации об изменении химического состава подземных вод в аридных территориях юга России. Так как рост показателей засушливости способен иметь взаимосвязь с увеличением концентраций соединений железа и сульфатов в водах слабозащищенных безнапорных водоносных горизонтов аридного Заволжья, нами также было осуществлено прогнозирование многолетней динамики ольфакторного риска с помощью валидизированного на примере неканцерогенных эффектов индекса засушливости NDMI.

Исследование взаимосвязи динамики NDMI и изменений концентраций органолептически значимых показателей качества воды выявило наличие высокой обратной значимой связи для предиктора «общее железо» во всех бассейнах, кроме Северо-Прикаспийского (p=0,515), однако для данного региона достоверным оказался предиктор «сульфаты» (p=0,011) (табл. 15).

Таблица 15 — Корреляционные связи между показателями, определяющими органолептический риск и значениями NDMI

Бассейны подземных	Годы СГМ	NDMI (y)	Общее железо, мг/дм^3 (x_1)	$r_{(x1,y)}$, p	Сульфаты, мг/дм^3 (x_2)	$r_{(x2,y)}$ p
Нижне-волжский	2017	-0,097	1,31	-0,895*, 0,015	637,13	-0,747, 0,088
	2018	-0,058	0,99		719,37	
	2019	0,002	0,51		556,52	
	2020	-0,108	0,92		619,85	
	2021	-0,050	0,70		543,01	
	2022	0,027	0,24		328,05	
	t_{10}	**-0,097**	**1,09**		**659,93**	
Северо-При-каспийский	2017	-0,087	0,98	-0,335, 0,515	1034,20	-0,911*, 0,011
	2018	-0,048	2,23		534,45	
	2019	-0,006	0,90		467,92	
	2020	-0,099	1,03		1077,01	
	2021	-0,057	0,74		487,18	
	2022	0,034	0,41		199,74	
	t_{10}	**-0,084**	**1,21**		**886,95**	

Окончание таблицы 15

Рын-Песковский	2017	-0,080	0,89	-0,964*, 0,002	495,25	-0,833*, 0,039
	2018	-0,037	0,55		466,31	
	2019	-0,007	0,33		405,41	
	2020	-0,097	0,80		920,18	
	2021	-0,058	0,62		448,53	
	2022	0,018	0,26		236,84	
	t_{10}	**-0,078**	**0,76**		**644,85**	

* - Статистически значимые корреляции при p <0,05

Низкий уровень корреляционной связи между железом и NDMI в Северо-Прикаспийском бассейне может быть объяснен как пестротой химической природы соединений железа, содержащего в подземных водах этого региона, так и тем, что принятый в санитарно-гигиеническом нормировании показатель «общее железо» не учитывает тип соединений в различных валентных формах металла, способного существовать в виде растворенных гидрокарбонатов, комплексных соединений и гидроксидов, связанных с органическими веществами гумусового генезиса в коллоидной форме (Сериков и др. 2009).

Учитывая данный фактор неопределенности, нами был применен иной прием, отличный от построения уравнения временного тренда, использованного в случае слагаемого несколькими показателями неканцерогенного риска. Используя данные об аридном тренде, проанализированном нами в главе 3, десятилетний горизонт прогнозирования для переменных-регрессоров был определен нами как пролонгированная во времени (t_{10} к 2032 году) динамика засушливости в диапазоне 2012-2022 гг. Учитывая линейный характер аридной тенденции, процентные уровни нарастания засушливости в десятилетнем отрезке 2021-2022 гг. были экстраполированы нами на временной промежуток 2022-2032 гг. (определено процентное увеличение засушливости в 2032 году по отношению к 2022 году). При этом, процентный прирост аридности рассчитывался нами по отношению к усредненному за 2017-2022 гг. значению NDMI в каждом из бассейнов III порядка по причине моногенной

природы ольфакторного риска. В модели учитывались прогнозные значения влияющей переменной NDMI на концентрации статистически значимого предиктора (общее железо) для Нижневолжского и Рын-Песковского бассейнов, на уровне 95-процентиля для достоверных коэффициентов корреляций. Для Северо-Прикаспийского бассейна в качестве предиктора была использована выборка сульфатов:

1. Нижневолжский бассейн (общее железо): ДИ-95% (0,78-1,39 мг/дм^3); probe(z)=0,21; Риск Φ(z)=0,5832;

2. Северо-Прикаспийский бассейн (сульфаты): ДИ-95% (645,54,-1128,34 мг/дм^3); probe(z)=-0,83; Риск Φ(z)=0,2033;

3. Рын-Песковский бассейн (общее железо): ДИ-95% (0,65-0,87 мг/дм^3); probe(z)=-0,47; Риск Φ(z)=0,3292.

Вероятность возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов вследствие употребления некондиционных по содержанию железа подземных вод по прогнозным значениям железа превысила допустимый порог в Нижневолжском (58,32%) и Северо-Прикаспийском (20,33%) бассейнах, в Рын-Песковском значение риска по предиктору «сульфаты» также превысило норму и составило 20,33%.

Прогнозирование канцерогенного риска, определяемого нами по хлороформу, также выполнялось с применением спутникового предиктора засушливости NDMI. Было выявлено, что смоделированные для горизонта прогнозирования, равного 10 годам, величины риска соответствовали предельно допустимому риску в течении всей жизни человека. В Нижневолжском бассейне значение канцерогенного риска составило 2,30E-5, в Северо-Прикаспийском – 2,11E-5, в Рын-Песковском регистрировалась наибольшая величина – 2,21E-5 для модели, основанной на исключительно пероральном поступлении хлороформа. Для ингаляторной экспозиции канцерогенная опасность для данных регионов находилась в диапазоне от 1,7E-3 до 1,9E-3, что соответствует опасному уровню риска здоровью.

Таким образом, нами было установлено, что для аридных регионов юга России NDMI является наиболее точным спутниковым индексом оценки и прогнозирования засушливости. Обсуждаемый показатель не использует «красный» (RED) канал спутниковой камеры, широко применяемый при анализе дефицита влаги в случае покрытия местности растительностью с высоким содержанием хлорофилла (индексы NDVI, RVI, IPVI и др.). Для территории волгоградского Заволжья типичны типчаково-ковыльные и полынно-злаковые степи, характеризующиеся значительно меньшим содержанием хлорофилла, чем биомасса «зеленых» древесных фитоценозов при равном проективном покрытии. SWIR-индекс NDMI взаимодействует с количеством воды в растительности, тем самым снимая фактор неопределенности, заключающийся в отличиях по содержанию хлорофилла между лесными сообществами и ксерофильными степями. На стадии подбора спутникового показателя NDMI позволил получить наиболее релевантные результаты для Северо-Каспийского бассейна, что согласуется с данными Д.В. Малахова с соавт., представленными для западных регионов Казахстана (Malakhov et al., 2020).

Нами обнаружены сильные корреляционные связи между спутниковым показателем NDMI и рисками здоровью, обусловленными засухозависимыми веществами. В работе Корасева А.В. с соавт. показан высокий линейный отклик HI на изменение аридности, оцененный с помощью NDMI для малых рек Башкортостана и Саратовской области (Косарев и др., 2020). Авторы указывают на достоверный рост риска, ассоциированного с пероральным поступлением железа и биогенных соединений азота. Данный феномен был отмечен нами и для волгоградского Заволжья. Засушливым годам соответствовали максимальные значения неканцерогенной опасности, связанной с железом и нитратами ($HQ_{дет/железо}$=0,30, $HQ_{дет/нитраты}$=0,98); наиболее «влажному» 2022 году были свойственны наименьшие уровни риска по этим веществам ($HQ_{дет/железо}$=0,05, $HQ_{дет/нитраты}$=0,14). Деятельность термофильных железовосстанавливающих бактерий, а также

индуцированное повышением температуры гниения органических соединений обуславливает экосистемную преемственность между негативными климатическими тенденциями и положительной динамикой риска здоровью (Лебедева и др., 2023).

Помимо этого, наши данные о значительном влиянии аридного тренда на качество подземных вод Заволжья по показателям натрия, кальция и магния соотносятся с результатами исследований Balamurugan P. et al. в индийском Тамилнаде (Balamurugan et al., 2020). Величины парной корреляции Пирсона между суммарным риском по трем указанным металлам и NDMI находились в пределах от -0,844 (p=0,037) до -0,971 (p=0,001) для Нижневолжского и Рын-Песковского бассейнов соответственно.

Принимая во внимание проблему галогенсодержащих соединений, для обеспечения населения волгоградского Заволжья доброкачественной питьевой водой необходимо усовершенствование процедуры водоподготовки. В отчетах СГМ надзорных органов мониторинговые точки Быковского, Николаевского, Палласовского и Старополтавского районов отнесены ко 2 классу подземных источников. Согласно требованиям СП 31.13330.2021: «Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», в случае обнаружения загрязнения хлорорганическими соединениям (блок «Определяющие антропогенные ингредиенты») необходима реализация дополнительных реагентных способов обработки – сорбционная доочистка в стационарном слое адсорбента. Учитывая природные особенности изучаемых подземных водоисточников (второй класс: Fe<3 мг/дм^3, Mn<0,1 мг/дм^3), в соответствии с СП 31.13330.2021 рекомендована следующая технологическая схема водоподготовки: упрощенная аэрация, фильтрование, стабилизация (блок «Очистка подземных вод от природных загрязнений»).

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ВОДНЫМ ФАКТОРОМ

5.1. Анализ неинфекционной заболеваемости, связанной с пероральным поступлением химических веществ из подземных вод

Присутствие в подземных водах Заволжья веществ с широким спектром токсического действия позволило перейти к процедуре оценки заболеваемости, этиологически связанной с пероральным поступлением данных загрязнителей в организм человека.

В основу выделения основных классов заболеваний, рассматриваемых в настоящем исследовании, была положена проанализированная нами в 4 главе группа приоритетных загрязнителей, определяющих качество подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Заволжья Волгоградской области. Опираясь на уровень суммарной неканцерогенной опасности по критическим системам (HI>1), зарегистрированной для трех гидрогеологических бассейнов подземных вод, нами были определены следующие нозологические классы неинфекционных болезней для дальнейшего анализа: болезни крови (критическая система по Р 2.1.10.1920—04: кровь); болезни мочеполовой системы (критическая система: почки); болезни нервной системы (критическая система: центральная нервная система); болезни системы кровообращения (критическая система: сердечно-сосудистая система); болезни органов пищеварения (критическая система: печень).

Логика представления данных о заболеваемости в системе Федерального информационного фонда (ФИФ СГМ), а также ежегодных отчетах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» предполагает анализ впервые установленной заболеваемости по административным районам. В связи с этим, нами был произведен расчет концентраций токсикантов и ассоциированных с ними неканцерогенных рисков на основе принадлежности мониторинговых точек Заволжья к тому

или иному административному району (Приложение Б). Территориальная группировка показателя HI по выделенным критическим системам была выполнена для четырех районов: Быковский, Николаевский, Старополтавский, Палласовский (Приложение В). Среднеахтубинский и Ленинский районы, хотя географически расположены в Левобережной части Волгоградской области, однако не являются типичными представителями аридного Заволжья, ввиду их территориальной принадлежности к зоне увлажненной Волго-Ахтубинской поймы.

В нашем исследовании были проанализированы показатели впервые установленной заболеваемости на 100 тысяч человек как для детского, так и взрослого населения. Мониторинговые системы надзорных служб содержат данные и о болезнях подростков (15-17 лет), однако данная группа нами не рассматривалась по причине принятых в рекомендациях по оценке риска факторов экспозиции (объем водопотребления, масса тела) только для двух возрастных типов экспонированной популяции: детей (0-6 лет) и взрослых (население старше 18 лет).

Нами было установлено, что средние величины общей жесткости на территории аридного Заволжья находились в диапазоне от 5,62 до 8,95 мг-экв/дм^3. В литературе представлены данные о влиянии жесткой водопроводной воды на мочекаменную болезнь (МКБ), носящие противоречивый характер. Так, результаты проспективных исследований указывают на важную роль баланса ионов Ca/Mg в генезе уролитиаза, в то время как статистически значимые корреляции между случаями возникновения мочекаменной болезни и показателем общей жесткости наблюдались как в условиях мягкой, так и жесткой воды. В контексте определения рисков роста заболеваемости МКБ, это позволяет сместить внимание с превышения ПДК общей жесткости на ионный состав воды по щелочноземельным металлам (Ковальчук, Маслов, 2021; Тарасов и др., 2015; Мамонова и др., 2024; WHO, 2022).

В протоколах ФИФ СГМ с 2017 по 2022 гг. среди детского населения не было зарегистрировано ни одного случая мочекаменной болезни. Это согласуется с данными обширных популяционных исследований, свидетельствующих о том, что уролитиаз дебютирует преимущественно у трудоспособных лиц в возрасте 40-50 лет (Шулаев и др., 2022). В связи с этим, анализ корреляционных зависимостей между случаями возникновения МКБ производился нами исключительно для взрослого населения (табл. 16).

Таблица 16 — Взаимосвязь между показателями химического состава подземных вод и заболеваемостью уролитиазом взрослого населения

Административные районы	Годы СГМ	Заболеваемость $P/_{100тыс.}$	Коэффициент парной корреляции r, p-уровень значимости**		
			Ca	Mg	Общая жесткость
Быковский	2017	65,3	r=0,508 p=0,304	r=0,754 p=0,083	r=0,334 p=0,517
	2018	71,4			
	2019	244,9			
	2020	78,9			
	2021	54,6			
	2022	203,7			
Николаевский	2017	995,2	r=-0,065 p=0,910	r=0,516 p=0,294	r=0,473 p=0,343
	2018	858,3			
	2019	735,5			
	2020	364,4			
	2021	845,5			
	2022	386,1			
Старополтавский	2017	14,2	r=0,210 p=0,691	r=0,842 p=0,035*	r=0,299 p=0,565
	2018	21,5			
	2019	14,8			
	2020	42,7			
	2021	32,2			
	2022	14,8			
Палласовский	2017	13,2	r=0,140 p=0,793	r=0,915* p=0,010	r=0,356 p=0,488
	2018	43,5			
	2019	23,9			
	2020	13,7			
	2021	11,8			
	2022	9,3			

*Статистически значимые коэффициенты пирсоновской корреляции при p <0,05
**Концентрации веществ представлены в Приложении Б

Коэффициенты корреляции для кальция и общей жесткости не относились к области статистически значимых величин ни в одном из рассматриваемых случаев (p >0,05). Статистически достоверные данные (для

n=6) были получены для магния в Старополтавском и Палласовском районах, в Быковском районе уровень p-критерий приближался к области значимых величин (p=0,083).

Поскольку анализ влияния качества воды на заболеваемость уролитиазом включал три показателя, то нами был применен H-критерий Крускала-Уоллиса для оценки равенства медиан в выборках коэффициентов корреляций (Ca, Mg, общая жесткость). Обнаружена значительная разница в изучаемой переменной между различными группами, $\chi 2(2) = 8$, со средним ранговым баллом 3,5 для Ca, 10,5 для Mg, 5,5 для общей жесткости воды (p=0,018) (данные о концентрациях кальция магния и величине общей жесткости представлены в Приложении Б). Это свидетельствует о доминирующем вкладе ионов магния в развитие мочекаменной болезни, по сравнению с кальцием и обобщенным показателем общей жесткости, что согласуется с результатами более ранних проспективных исследований (Ковальчук, Маслов, 2021; Петров и др., 2017). Таким образом, предположение об устойчивой связи общей жесткости воды и заболеваемостью уролитиазом не нашла подтверждения в процессе нашего исследования.

Следующий этап исследования заключался в территориальном ранжировании заболеваемости уролитиазом в аридном Заволжье. Для этой цели нами был произведен анализ данных СГМ методом k-средних. Предполагалось выделение трех кластеров (0;1;2), условно соответствующих низкому, среднему и высокому уровню заболеваемости (рис. 17).

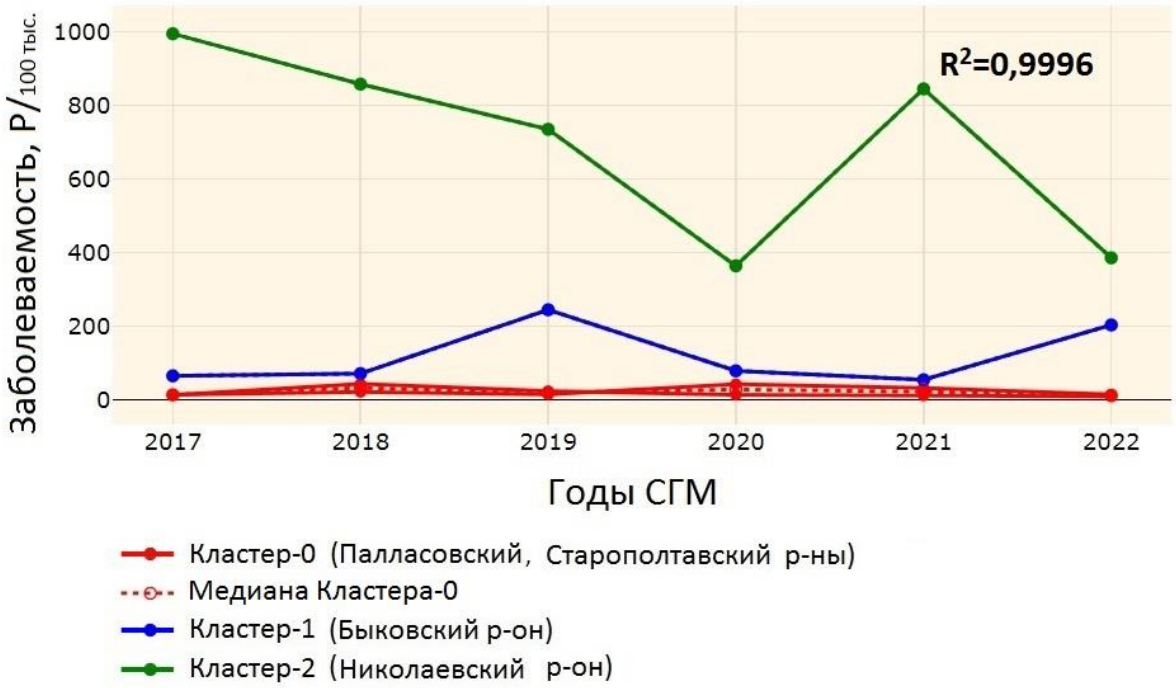


Рисунок 17 – Ранжирование административных территорий аридного Заволжья по показателю заболеваемости МКБ

Величина объясненной дисперсии R^2=0,9996 подтверждает существенность различий кластеров для всех трех рангов заболеваемости. К кластеру-0 (низкий уровень заболеваемости) относятся Палласовский и Старополтавский районы. Средний многолетний уровень (СМУ) заболеваемости здесь составил 19,23±5,26 и 23,36±4,78 случаев на 100 тыс. человек соответственно. В Быковском районе (кластер-1) величина СМУ составила 199,80±33,63, что соответствовало среднему уровню заболеваемости. К рангу высокой заболеваемости (кластер-2), согласно данным анализа k-средних, относится Николаевский район со среднемноголетним уровнем, равным 695,70±107,35. Указанное значение достоверно выше СМУ заболеваемости уролитиазом по Волгоградской области $T_{расч.}$= 5,50 > $T_{крит.}$= 3,17, при p<0,01.

Необходимо ответить факт регистрации случаев первичной заболеваемости МКБ в Николаевском районе в 2017 и 2019 годах (99,01 и 96,50 на 100 тыс. населения соответственно), а также в Палласовском районе

в 2017 году – 75,2/100 тыс. чел. среди подростков. Полиэтиологический характер уролитиаза позволяет предполагать значимый вклад употребления некондиционных подземных вод в развитие этого заболевания из-за отсутствия длительного воздействия на организм подросткового населения поведенческих факторов риска, таких как седиментарный образ жизни и нездоровые пищевые привычки.

В современной науке характер влияния общей жесткости воды на другие органы и системы остается спорным вопросом. С одной стороны, существуют данные, демонстрирующие прямую связь между риском развития сердечно-сосудистых заболеваний, задержкой роста, репродуктивным здоровьем и повышенной общей жесткостью питьевой воды. С другой, ряд эпидемиологических исследований указывает на наличие обратной вариации между значениями концентрации Ca/Mg в мягкой воде и ростом онкологической и сердечно-сосудистой заболеваемости. Кроме того, обнаружен протективный эффект поступающих из питьевой воды ионов магния, выражающийся в снижении риска гипертонии, сердечных аритмий, атеросклероза и сахарного диабета (Bagheri et al., 2021). Ввиду отсутствия достоверных данных о прямом влиянии общей жесткости воды на кардиоваскулярные патологии, оценка воздействия данного показателя на ССС нами не производилась.

Переходя к анализу заболеваемости по основным классам болезней, определенным в соответствии с полученной в результате исследования картиной неканцерогенного риска, необходимо отметить наличие прямой корреляционной связи между показателем заболеваемости и ассоциированным с ним уровнем риска по критическим системам во всех рассматриваемых случаях. Данный феномен валидизирует разработанную нами модель прогнозирования рисков, основанную на использовании показателей аридности территории в качестве предикторов (подглава 4.3). Таким образом, имплементация триады «спутниковый индикатор засушливости – неканцерогенный риск – заболеваемость» позволяет

утверждать, что уровень заболеваемости может быть прогнозируемым на основе данных о климатических показателях.

Результаты корреляционного анализа первичной заболеваемости взрослых и выявленных неканцерогенных рисков представлены в таблице 17. В Быковском и Николаевском районах отмечалось наличие сильной прямой взаимосвязи между изучаемыми выборками. Вместе с этим, статистически недостоверными здесь оказались зависимости между риском здоровью и заболеваемостью по органам сердечно-сосудистой системы (ССС) (при p <0,05), в Быковском районе корреляция в паре «неканцерогенный риск-болезни крови» превышала минимальный порог высокой степени тесноты связи (0,7 по шкале Чеддока), однако оказалась незначимой (p=0,098). Причины этого явления могут быть связаны с отсутствием вклада чувствительного к многолетней динамике аридности хлороформа в формирование риска по ССС. На территории же Старополтавского и Быковского района нами не было отмечено достоверных зависимостей, коэффициенты парной корреляции лежали в пределах 0,265-0,661 (табл. 17).

Таблица 17 — Корреляционные связи между неканцерогенными рисками здоровью взрослого населения (HI) и показателями первичной заболеваемости ($P/_{100тыс.}$) по основным критическим системам

Районы	Годы СГМ	Критические системы, взрослые**									
		Кровь		Почки		ЦНС		ССС		Печень	
		HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$
Быковский	2017	1,04	713,2	0,79	1606,0	0,75	680,5	0,32	2310,3	0,67	3859,8
	2018	0,83	125,6	0,70	745,1	0,58	270,9	0,22	1854,1	0,56	1961,4
	2019	0,70	183,7	0,45	447,0	0,35	409,7	0,35	9640,9	0,35	1896,1
	2020	0,67	213,6	0,45	377,6	0,35	272,6	0,31	2245,5	0,34	1172,4
	2021	0,54	277,9	0,33	341,4	0,23	183,7	0,32	4600,1	0,23	831,8
	2022	0,44	99,8	0,29	358,1	0,19	105,5	0,30	2469,8	0,19	889,0
Корреляция		**r=0,732 p=0,098**		**r=0,874* p=0,022**		**r=0,836* p=0,038**		**r=0,631 p=0,179**		**r=0,908* p=0,012**	
Николаевский	2017	0,68	91,7	0,60	4674,6	0,52	1030,1	0,12	1557,8	0,49	1021,3
	2018	0,66	70,8	0,58	3610,0	0,46	902,5	0,19	1952,5	0,46	1123,7
	2019	0,78	151,6	0,57	3151,6	0,44	494,8	0,31	2840,2	0,43	900,5
	2020	0,90	112,5	0,41	2442,6	0,30	458,8	0,23	1736,4	0,30	886,2
	2021	0,47	50,1	0,31	1170,6	0,20	437,3	0,28	2540,3	0,20	660,5

Окончание таблицы 17

	2022	0,44	46,2	0,30	739,4	0,21	268,0	0,25	1575,9	0,21	526,9
Корреляция		**r=0,838* p=0,037**		**r=0,955* p=0,002**		**r=0,858* p=0,028**		**r=0,749 p=0,086**		**r=0,907* p=0,012**	
Старополтавский	2017	1,26	779,7	0,98	4238,7	0,94	1438,9	0,30	2792,7	0,92	2031,9
	2018	0,72	344,6	0,48	2757,0	0,36	402,1	0,30	4272,0	0,31	828,5
	2019	0,60	458,6	0,42	1398,0	0,36	96,2	0,30	2233,9	0,34	1431,8
	2020	1,36	474,9	1,13	1439,6	0,99	111,3	0,41	2122,3	0,97	808,8
	2021	0,93	443,7	0,77	1338,7	0,64	203,1	0,35	2105,9	0,63	759,6
	2022	0,31	438,0	0,28	1375,5	0,20	199,8	0,17	1244,9	0,20	514,9
Корреляция		**r=0,542 p=0,266**		**r=0,308 p=0,552**		**r=0,454 p=0,366**		**r=0,256 p=0,624**		**r=0,430 p=0,395**	
Палласовский	2017	0,51	69,3	0,47	2503,0	0,40	3,3	0,15	2216,1	0,37	329,8
	2018	0,54	77,0	0,55	2509,9	0,40	50,2	0,22	1716,8	0,40	425,0
	2019	0,51	75,0	0,42	1804,0	0,37	10,2	0,20	1711,9	0,37	392,2
	2020	0,66	85,8	0,50	219,8	0,34	68,7	0,46	1569,3	0,34	367,4
	2021	0,29	66,7	0,31	119,4	0,22	10,5	0,10	1594,3	0,22	270,4
	2022	0,20	78,5	0,27	189,1	0,17	14,3	0,03	838,4	0,17	410,3
Корреляция		**r=0,435 p=0,388**		**r=0,661 p=0,152**		**r=0,267 p=0,608**		**r=0,286 p=0,582**		**r=0,265 p=0,611**	

* - Статистически значимые коэффициенты пирсоновской корреляции при p <0,05

** - Исходная информация по уровню риска, рассчитанного для каждому из токсикантов, а также концентрации загрязнителей представлены в Приложениях Б и В

Сравнение выборок коэффициентов корреляций в Быковском-Николаевском/Старополтавском-Палласовском районах выявило достоверные отличия между рассматриваемыми рядами данных ($T_{расч.}$=8,80 > $T_{крит.}$= 2,88, при p<0,01). Причины этого явления могут быть объяснены гидрогеохимической природой подземных водных объектов. Территория, занимаемая Быковским и Николаевским районам, относится к Приволжской песчаной гряде – уникальному для волгоградского Заволжья геоморфологическому образованию. Водовмещающими породами здесь являются исключительно более чувствительные к атмосферной засухе пески, в отличие от более типичных для Палласовского и Старополтавского районов супесей и суглинков (Брылев, Овчарова, 2016).

Что же касается корреляционных связей между неканцерогенными рисками здоровью и болезнями сердечно-сосудистой системы детского населения Быковского и Николаевского районов, то они также оказались статистически недостоверными (при p<0,05). В отличие от экспонированной

когорты взрослого населения, в Палласовском районе среди детского населения зарегистрированы значимые связи для болезней крови (p=0,010) и сердечно-сосудистой системы (p=0,023). В отношении же данной группы респондентов Старополтавского района значимых корреляций нами зафиксировано не было.

Результаты сравнительного анализа достоверности отличий между вариационными рядами коэффициентов корреляции между Быковским-Николаевским и Старополтавским-Палласовским районами не продемонстрировали статистической значимости ($T_{расч.}$=1,70 <$T_{крит}$=2,10, при p <0,05), что может быть ассоциировано с меньшей продолжительностью действия токсикантов на организм детей (табл. 18).

Таблица 18 — Корреляционные связи между неканцерогенными рисками здоровью детей (HI) и показателями первичной заболеваемости ($P/_{100тыс.}$) по основным критическим системам

Районы	Годы СГМ	Критические системы, дети									
		Кровь		Почки		ЦНС		ССС		Печень	
		HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$	$P/_{100тыс}$	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$	HI	$P/_{100тыс}$
Быковский	2017	2,44	3725,8	1,85	780,5	1,67	189,4	0,75	56,8	1,56	1537,5
	2018	1,92	1842,8	1,59	549,3	1,36	101,2	0,49	0,0	1,31	1307,1
	2019	1,57	2703,2	1,04	749,0	0,83	76,8	0,77	0,0	0,82	1313,5
	2020	1,56	2227,0	0,98	748,5	0,83	20,0	0,70	116,2	0,80	1260,0
	2021	1,27	1560,0	0,74	460,0	0,54	38,1	0,75	20,0	0,53	672,2
	2022	1,02	1578,0	0,70	154,9	0,45	19,4	0,71	60,7	0,44	716,5
Корреляция		**r=0,820* p=0,045**		**r=0,565 p=0,242**		**r=0,918* p=0,010**		**r=0,245 p=0,640**		**r=0,863* p=0,027**	
Николаевский	2017	1,58	797,3	1,38	329,0	1,22	727,3	0,26	127,3	1,14	1267,9
	2018	1,53	545,6	1,34	236,4	1,07	567,0	0,43	350,4	1,06	1215,8
	2019	1,71	1264,1	1,15	283,5	1,02	270,2	0,56	388,4	1,00	1795,5
	2020	1,43	872,1	0,88	116,8	0,71	342,0	0,53	307,8	0,70	675,3
	2021	1,10	483,8	0,69	101,3	0,47	327,3	0,63	283,5	0,46	496,1
	2022	1,00	320,8	0,67	171,0	0,49	150,2	0,58	502,2	0,48	545,6
Корреляция		**r=0,831* p=0,040**		**r=0,849* p=0,032**		**r=0,778 p=0,068**		**r=0,692 p=0,127**		**r=0,851* p=0,032**	
Старополтавский	2017	2,86	2221,6	2,34	324,2	2,13	199,5	0,68	274,3	2,10	4015,0
	2018	1,80	1666,7	1,10	161,5	0,84	240,2	0,70	0,0	0,73	1042,2
	2019	1,43	2055,0	0,98	80,1	0,85	188,4	0,69	293,6	0,80	1201,0
	2020	3,19	2099,6	2,56	137,1	2,30	384,0	0,96	107,7	2,26	996,0
	2021	2,16	2247,8	1,72	410,3	1,49	281,0	0,80	54,9	1,46	4359,0

Окончание таблицы 18

	2022	0,72	1271,8	0,66	196,7	0,46	153,8	0,38	0,0	0,46	252,9
Корреляция		**r=0,759 p=0,080**		**r=0,328 p=0,526**		**r=0,686 p=0,132**		**r=0,192 p=0,718**		**r=0,520 p=0,290**	
Палласовский	2017	1,17	1585,0	1,10	609,6	0,93	243,8	0,34	166,3	0,87	1086,2
	2018	1,20	2035,6	1,19	178,0	0,91	166,9	0,46	77,9	0,90	267,0
	2019	1,07	1949,6	0,97	302,5	0,86	89,6	0,32	119,9	0,86	313,7
	2020	1,55	2676,5	1,17	239,2	0,81	227,8	1,08	246,5	0,80	216,4
	2021	0,64	1330,6	0,66	95,9	0,51	24,0	0,21	56,9	0,51	275,7
	2022	0,46	1215,5	0,51	24,6	0,40	135,1	0,07	24,6	0,40	73,7
Корреляция		**r=0,918* p=0,010**		**r=0,609 p=0,199**		**r=0,564 p=0,244**		**r=0,873* p=0,023**		**r=0,478 p=0,337**	

* - Статистически значимые коэффициенты пирсоновской корреляции при p <0,05

** - Исходная информация по уровню риска, рассчитанного для каждому из токсикантов, а также концентрации загрязнителей представлены в Приложениях Б и В

На заключительном этапе исследования данные о первичной заболеваемости, ассоциированной с определенным на стадии характеристики риска перечнем приоритетных критических систем, подвергающихся опасности развития неканцерогенных эффектов, были суммированы и преобразованы в интенсивный показатель общей заболеваемости. Распределение административных территорий, выполненное с помощью метода k-средних, позволило определить зоны с низким (кластер-0), средним (кластер-1) и высоким (кластер-2) уровнем по интенсивному показателю общей заболеваемости.

Оценка результатов процедуры кластеризации показала, что возрастные группы экспонированных когорт (взрослые и дети) демонстрировали различную логику распределения вариационных рядов заболеваемости по рангам. Необходимо отметить, что к зоне с низким уровнем общей заболеваемости в двух рассматриваемых случаях относился Палласовский район. Для детского населения кластеру-0 соответствовали также показатели, рассчитанные для Николаевского района, в то время как в ранг высокой заболеваемости детей попадали значения Старополтавского района; для взрослых кластер-2 был связан с показателями Быковского района. Примечательно, что последний также занимал первое ранговое

место в профиле впервые установленной заболеваемости среди всех административных районов Волгоградской области в 2019 и 2021 годах. Это созвучно полученным в результате нашего исследования данным: на графике заболеваемости взрослых спайки кластера «высокой заболеваемости» отмечается именно для этих временных точек СГМ (рис. 18).

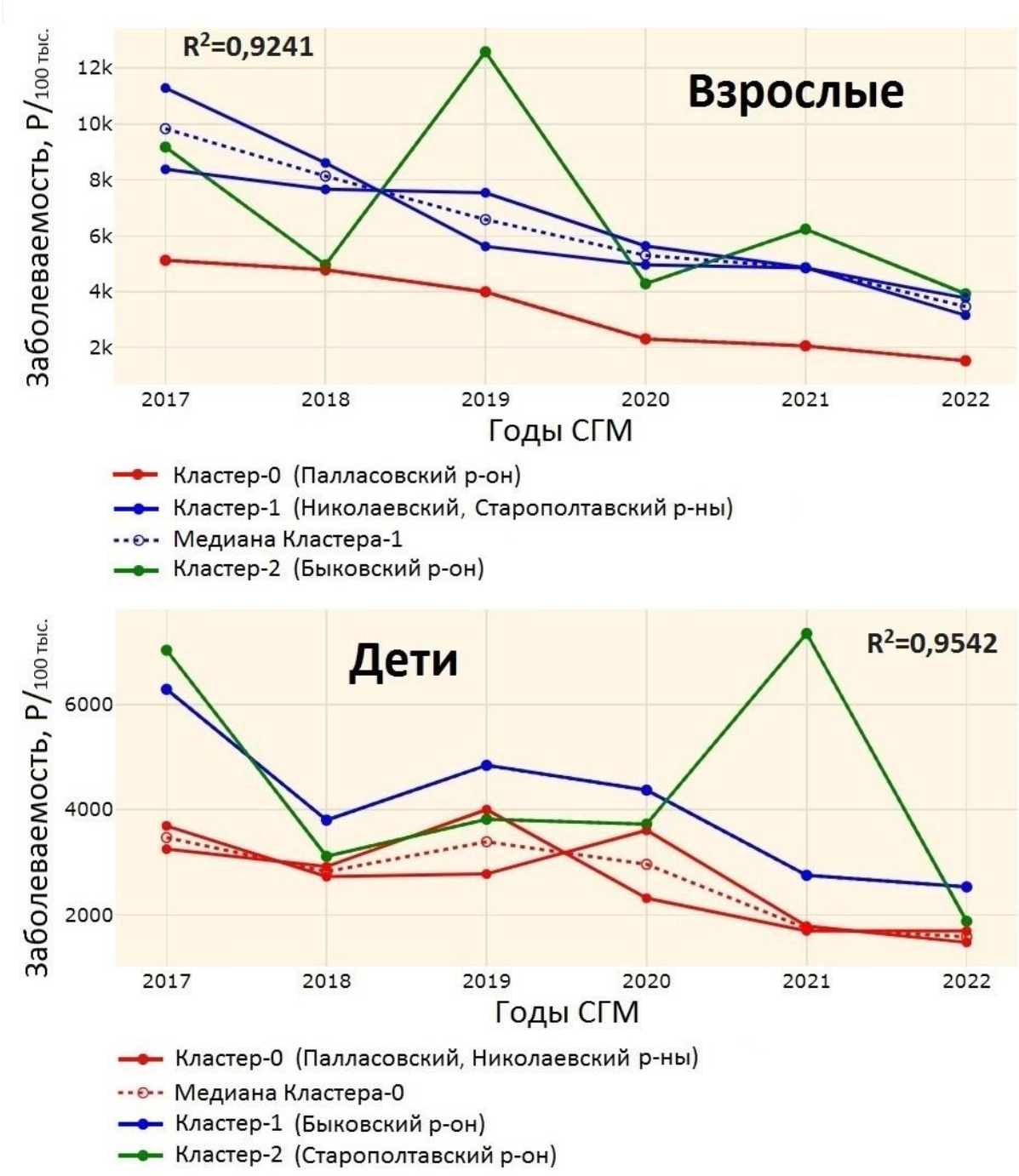


Рисунок 18 – Ранжирование административных территорий аридного Заволжья по интенсивному показателю общей заболеваемости (ассоциированный с неканцерогенными рисками нозологический профиль)

Величина объясненной дисперсии в кластерных моделях для двух возрастных категорий превышала 0,9, что говорит о существенности различий между всеми выделенными нами территориальными зонами заболеваемости и валидизирует полученные данные. При этом, во всех районах аридного Заволжья среднемноголетний уровень заболеваемости взрослых был достоверно выше, чем усредненный для всей территории Волгоградской области СМУ. В отношении детского населения Николаевского и Палласовского районов наблюдалось отсутствие статистически значимых отличий от среднерегионального значения СМУ ($T_{расч.}$ =1,10 <$T_{крит.}$ =2,23, при p <0,05), что наглядно выражается в принадлежности указанных районов к кластеру-0 (табл. 19).

Таблица 19 — Сравнительная характеристика показателя СМУ заболеваемости районов аридного Заволжья

Районы	СМУ заболеваемости	
	Взрослые, M±m	Дети, M±m
Быковский	6857,1±1382,2**	4085,5±571,5**
Николаевский	6204,2±817,2**	2614,5±374,5
Старополтавский	6514,2±1663,3**	4485,6±902,8*
Палласовский	3299,4±622,5*	2675,3±371,9
СМУ заболеваемости по Волгоградской области	**1758,6±73,6**	**2230,6±118,7**

*- Статистически значимые различия при p <0,01 ($T_{крит}$=3,17)
** - Статистически значимые различия при p <0,05 ($T_{крит}$=2,23)

Анализируя картину рисков здоровью, ассоциированных с пероральным поступлением токсикантов из подземных вод (разводящая сеть), нами был выявлен значительный уровень опасности, формируемый хлороформом. Помимо вклада в неканцерогенный риск, указанный загрязнитель обладает канцерогенным потенциалом, что было рассмотрено нами в подглаве 4.3.2. Согласно Р 2.1.10.1920—04, понятие

индивидуального канцерогенного риска не связано с детерминированным эффектом. Оно описывает дополнительную вероятность развития новообразований на протяжении жизни человека, обусловленную поступлением канцерогена в организм. Популяционный канцерогенный риск характеризует количество дополнительных случаев онкологических заболеваний среди экспонированного населения в течение года и не связан напрямую с показателем онкологической заболеваемости. Принимая во внимания стохастический характер процессов развития злокачественных новообразований, анализ взаимосвязи онкологической заболеваемости и показателя канцерогенного риска, формируемого хлороформом, нами не производился.

В подглаве 4.2 нами также был рассмотрен риск здоровью, ассоциированный с химическим составом нецентрализованных источников водоснабжения, при этом исследование проб воды носило поперечный характер. В указанной подглаве и литературном обзоре (подглава 1.2) кратко приведена характеристика патологий, этиологически связанных с некондиционными подземными водами данных источников. Невозможность адекватной оценки объема экспонированной популяции является значимым фактором неопределенности в трактовке степени влияния воды нецентрализованных источников на популяционное здоровье населения Заволжья. По причине этого, в анализе заболеваемости нами не рассматривались эффекты, связанные с водоснабжением, организованным при помощи водозаборных устройств без разводящей сети.

5.2. Анализ инфекционной заболеваемости, связанной с эколого-географическими факторами, влияющими на качество подземных вод

В руководстве, представленном Всемирной организацией здравоохранения, некондиционные воды подземных источников рассматриваются в качестве одной из причин вспышек инфекционных

заболеваний (WHO, 2022). В связи с этим, нами была осуществлена оценка уровня заболеваемости, ассоциированной с нестандартными по микробиологическим показателям качества пробами воды, а также рассмотрена климатическая модель прогнозирования эпидемических вспышек инфекций с водным путем передачи.

Необходимо отметить, что на территории аридных районов Заволжья Волгоградской области надзорными органами регулярно выявляются случаи несоответствия проб воды из подземных источников (скважин) централизованного водоснабжения санитарно-микробиологическим и паразитологическим показателям безопасности (согласно СанПиН 1.2.3685-21). Так, в селе Левчуновка в 2017 году были зарегистрированы общие колиформные бактерии (300 КОЕ/100 $см^3$). В 2019 году в пробах из г. Николаев и г. Быково отмечались превышения общего микробного числа (60 КОЕ/$см^3$), регистрировалось присутствие группы общих (до 22,3 КОЕ/100 $см^3$) и термотолерантных (до 22,3 КОЕ/100 $см^3$) колиформных бактерий. В г. Палласовка (до 36,7 КОЕ/100 $см^3$) и г. Старая Полтавка (до 5,0 КОЕ/100 $см^3$) термотолерантные колиформные бактерии наблюдались в 2020 году. В 2021 в протоколах СГМ отмечены превышения по общим и термотолерантным клиформным бактериям в с. Политотдельное (до 5 КОЕ/100 $см^3$, Николаевский р-он) и в Палласовке (0,7 КОЕ/100 $см^3$). В 2022 году общие колиформные бактерии наблюдались в пробах наблюдательных постов с. Красный Мелиоратор (1,3 КОЕ/100 $см^3$, Николаевский р-он), с. Кислово и г. Быково (до 0,7 КОЕ/100 $см^3$, Быковский р-он), г. Палласовка (до 1,3 КОЕ/100 $см^3$).

В целях оценки рисков осложнения эпидемиологической ситуации по инфекциям, связанным с водным путем передачи, нами был произведен сравнительный анализ четырех районов аридного Заволжья со среднеобластным показателем, характеризующим удельный вес проб, превышающих гигиенические нормативы по микробиологическим показателям. Нами было выполнено построение модели логистической

регрессии для определения связи между процентной долей микробиологически некондиционных проб воды в Заволжье (независимая переменная) и риском превышения среднего по аналогичному показателю значения в разрезе всех территорий Волгоградской области (зависимая переменная). На данном этапе исследования нами оценивалась вероятность наступления бинарного события, где «1» (событие «да») соответствовало превышению среднеобластного значения процентной доли некондиционных проб воды по микробиологическим показателям качества в том или ином районе. Событие «0» («нет») описывало ситуацию, при которой удельный вес проб находился ниже средней по Волгоградской области величины.

Результаты ретроспективного изучения территорий региона показали, что во временном диапазоне 2018-2022 гг. в зоне районов Заволжья 10 раз наблюдалось превышение среднеобластного показателя. При этом, в 2022 году значения доли некондиционных проб в Быковском, Старополтавском и Палласовском районах оказались выше уровня региональной медианы (табл. 20).

Таблица 20 — Входные данные для расчета логистической функции превышения среднеобластного показателя от доли некондиционных проб в аридном Заволжье

Административные районы аридного Заволжья	Годы СГМ	Удельный вес проб, превышающих норматив, %	Бинарный классификатор события	p	95% доверительный интервал
Быковский	2018	1,0	0	0,249	(0,082 – 0,553)
	2019	5,1	1	0,889	(0,275 – 0,994)
	2020	0	1	0,132	(0,025 – 0,479)
	2021	1,0	0	0,249	(0,082 – 0,553)
	2022	5,1	1	0,889	(0,275 – 0,994)
Николаевский	2018	0,5	0	0,183	(0,047 – 0,507)
	2019	2,1	0	0,438	(0,181 – 0,734)
	2020	1,6	0	0,346	(0,136 – 0,639)
	2021	0,7	1	0,208	(0,059 – 0,523)
	2022	2,1	0	0,438	(0,181 – 0,734)

Окончание таблицы 20

Старополтавский	2018	0	0	0,132	(0,025 – 0,479)
	2019	0	0	0,132	(0,025 – 0,479)
	2020	0	0	0,132	(0,025 – 0,479)
	2021	21,6	1	1,000	(0,212 – 1,000)
	2022	8,3	1	0,990	(0,277 – 1,000)
Палласовский	2018	5,0	1	0,881	(0,275 – 0,993)
	2019	15,4	1	1,000	(0,245 – 1,000)
	2020	1,8	1	0,382	(0,155 – 0,675)
	2021	1,5	0	0,328	(0,127 – 0,622)
	2022	15,3	1	1.000	(0,245 – 1,000)

Рассчитанное значение коэффициента логистической регрессии r=0,777 (p=0,043) позволило определить критическое значение зависимой переменной (2,5%), при котором региональная доля некондиционных проб воды будет лежать достоверно выше среднеобластного показателя при p <0,05. Так как p-значение хи-квадрат теста оказалось значительно меньше 5%, то мы можем утверждать о значительном влиянии регрессора на переменную отклика. При этом, оценка отношения шансов (OR) в созданной нами логистической модели прогнозирования показала, что шансы превышения среднерегионального значения доли некондиционных проб в районах аридного Заволжья значительно выше вероятности реализации альтернативного бинарного события. Значение OR для события «1» (превышение медианы) в генеральной совокупности данных по четырем рассматриваемым районам составило 2,18 Это свидетельствует о том, что шансы наступления события «1» в 2,18 раз превышает вероятность того, что в последующие годы удельный вес проб в аридном Заволжье окажется ниже среднерегионального уровня (рис. 19).

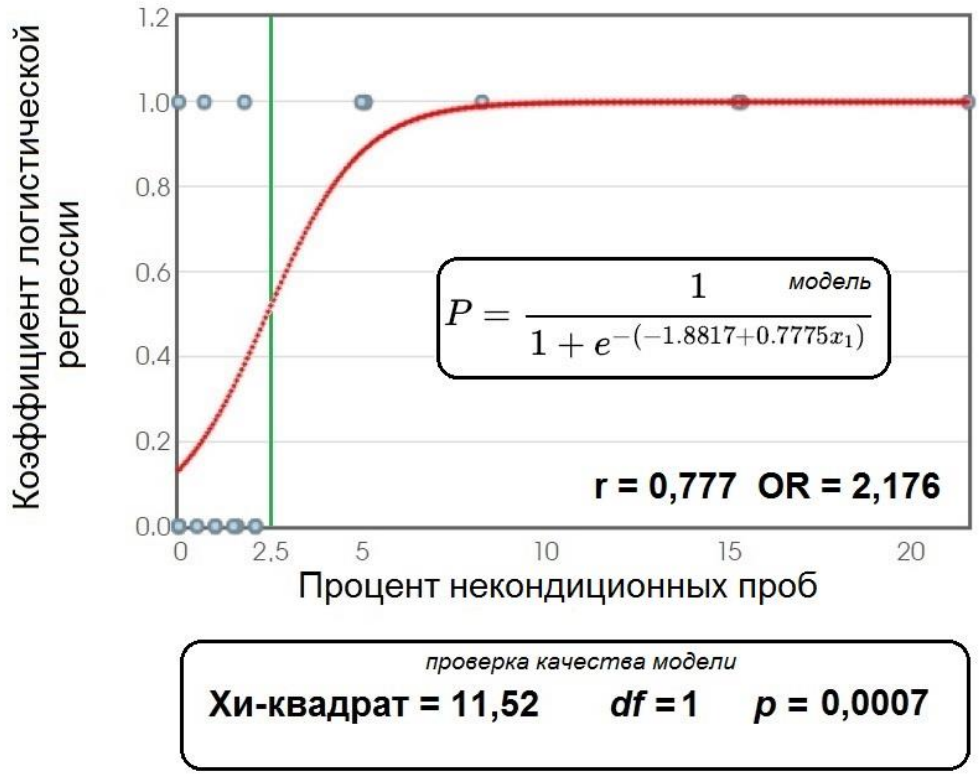


Рисунок 19 – График логистической функции, описывающей вероятность превышения среднеобластной доли некондиционных проб по микробиологическим показателям в районах аридного Заволжья

Сохраняющийся в зоне аридного Заволжья риск превышения среднеобластного значения доли проб, некондиционных по микробиологическим критериям, обусловил важность оценки уровня инфекционной заболеваемости, ассоциированной с водным путем передачи.

Логика оценки инфекционной заболеваемости базировалась на основе приоритетного списка болезней из Информационного бюллетеня Всемирной организации здравоохранения, этиологически связанных недоброкачественной водой по санитарно-микробиологическим и паразитологическим показателям безопасности (https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/environmental-health-in-emergencies/humanitarian-emergencies).

В ежегодных отчетах филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области – филиал в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах» представлены данные о заболеваемости сальмонеллезом, шигеллезом, энтеровирусными инфекциями, другими острыми кишечными инфекциями установленной этиологии (ОКИУЭ), острыми кишечными инфекциями неустановленной (ОКИНЭ), а также об остром вирусном гепатите А (ОВГА) за 2018-2022 гг.

Средний многолетний уровень заболеваемости сальмонеллезом на территории Волгоградской области в пятилетнем временном разрезе находится на уровне 12,5±2,13, дизентерией – 2,19±0,78, энтеровирусными инфекциями – 0,21 ±0,13, ОВГА – 0,66±0,12, ОКИУЭ – 64,55±14,23, ОКИНЭ – 218,00±32,75. В зоне аридного Заволжья не было зарегистрировано ни одного случая вирусного гепатита А, в Быковском и Палласовском районах также не отмечались случаи шигеллеза в пятилетней ретроспективе. Надзорными органами зафиксированы единичные случаи возникновения энтеровирусных ОКИ, относящиеся к Старополтавскому (3 случая) и Быковскому районам (1 случай) в 2019 году. В отношении ОКИ неустановленной этиологии наблюдалась неоднородная многолетняя динамика заболеваемости. В Николаевском и Палласовском районах отмечалось снижение показателя на 100 тыс. населения (-74,58% и -81,40% соответственно), в Старополтавском наблюдался прирост (+64,25%) к 2022 году, по сравнению с данными СГМ за 2018 год. В Быковском районе в 2018 не было зарегистрировано ни одного случая ОКИНЭ, что может быть связано с проблемой обращаемости за медицинской помощью. Данный феномен возможно рассматривать как один из факторов неопределенности в дальнейшем анализе неинфекционной заболеваемости в регионе (табл. 21).

Таблица 21 — Величина среднемноголетнего уровня заболеваемости ОКИ в районах аридного Заволжья

Районы	Годы СГМ	Заболеваемость ОКИ, $P/_{100тыс}$					
		Сальмонеллез	Шигеллез	Энтеровирусы	ОВГА	ОКИУЭ	ОКИНЭ
Быковский	2018	3,93	0	0	0	0	0
	2019	23,83	0	3,97	0	7,94	71,52
	2020	28,21	0	0	0	4,03	87,42
	2021	8,14	0	0	0	0	66,63
	2022	33,1	0	0	0	4,14	59,60
	СМУ, M±m	19,44± 5,70	0*	0,79± 0,79	0**	3,22± 1,49*	56,60± 14,97**
Николаевский	2018	34,16	6,8	0	0	0	717,58
	2019	47,75	0	0	0	0	228,92
	2020	13,92	0	0	0	0	864,45
	2021	7,0	0	0	0	0	499,01
	2022	3,56	0	0	0	0	180,44
	СМУ, M±m	21,28± 8,48	1,36± 1,36	0	0**	0**	497,63± 133,34
Старополтавский	2018	10,95	27,38	0	0	21,9	235,95
	2019	16,74	0	16,74	0	5,58	943,82
	2020	17,64	47,05	0	0	141,17	730,34
	2021	0	11,38	0	0	0	432,58
	2022	0	0	0	0	5,8	387,64
	СМУ, M±m	9,06± 3,87	17,16± 9,00	3,35± 3,34	0**	34,89± 26,82	545,40± 127,73*
Палласовский	2018	2,5	0	0	0	0	463,63
	2019	2,5	0	0	0	0	318,18
	2020	21,2	39,40	0	0	163,60	175,75
	2021	0	0	0	0	0	154,54
	2022	0	0	0	0	2,6	87,87
	СМУ, M±m	2,54± 4,03	7,88± 7,88	0	0**	33,24± 32,59	239,99± 67,34
Средн. область	**СМУ, M±m**	**12,5± 2,13**	**2,19± 0,78**	**0,21± 0,13**	**0,66± 0,12**	**64,55± 14,23**	**218,00± 32,75**

*- Статистически значимые различия при p <0,01 ($T_{крит}$=2,31)

** - Статистически значимые различия при p <0,05 ($T_{крит}$=3,36)

Сопоставление среднего по Волгоградской области СМУ заболеваемости с районами аридного Заволжья продемонстрировало значимость отличий по ОВГА по всем рассматриваемым районам (при p <0,01) ввиду отсутствия случаев возникновения вирусного гепатита А в исследуемом регионе. Помимо этого, достоверно меньший уровень заболеваемости, по сравнению со среднерегиональным, выявлен нами по группе ОКИУЭ в Быковском и Николаевском районах. СМУ распространенности острых кишечных инфекций неустановленной

этиологии в популяции Быковского района был ниже, чем аналогичный показатель, рассчитанный для всех территорий Волгоградской области (p <0,01); заболеваемость ОКИНЭ в Старополтавском районе оказалась достоверно выше среднего по области в период 2018-2022 гг. (при p <0,05).

На следующем этапе исследования нами была выполнена оценка потенциала метеорологического индекса засушливости де Мартонна (DMI) в прогнозировании динамики эпидемического процесса острых кишечных инфекций (см. главу 2). Также в работе был произведен расчет модифицированного показателя аридности де Мартонна (DMI_m) в целях поиска наиболее значимого предиктора для ассоциированной с водным фактором инфекционной заболеваемости. Трансформация индекса осуществлялась с учетом экологии бактериальных возбудителей ОКИ: сумма осадков вычислялась за период со среднемесячными температурами выше +10°С. Значения Т представляли собой усредненную температуру воздуха за этот же промежуток времени (табл. 22).

Таблица 22 — Расчетные показатели стандартного и модифицированного индексов де Мартонна

Административные районы	Годы	DMI		DMI_m	
		Среднегодовая температура (Т), °С	Годовая сумма осадков (Р), мм	Усредненная температура при Т >10°С	Сумма осадков при Т >10°С
Палласовский	2018	7,6	288	19,4	109
	2019	8,4	260	17,2	155
	2020	9,3	208	20,6	90
	2021	9,2	382	22,1	193
	2022	8,8	438	18,5	231
Старополтавский	2018	7,5	350	19,5	208
	2019	8,5	377	18,5	180
	2020	9,2	250	18,7	102
	2021	9,1	508	21,4	218
	2022	12,1	680	18,2	225
Быковский	2018	8,4	368	17,9	235
	2019	9,2	325	20,2	195
	2020	9,8	240	20,5	96

Окончание таблицы 22

	2021	9,7	468	20,7	304
	2022	9,8	493	19,6	278
Николаевский	2018	8,0	389	19,7	195
	2019	8,9	365	17,6	205
	2020	9,5	252	20,3	96
	2021	9,4	495	19,5	304
	2022	9,2	493	18,4	278

На этапе оценки статистической адекватности включения выборок зависимых переменных в модель нулевая гипотеза заключалась в отсутствии различий между рядами показателей заболеваемости ОКИ на территории разных районов волгоградского Заволжья. Для проверки значимости влияния аридного тренда (по функции осадки/температура DMI) на осложнение эпидемиологической ситуации по острым кишечным инфекциям нами был выполнен ANOVA-тест (однофакторный дисперсионный анализ). В качестве анализируемой переменной-регрессора на стадии тестирования входных данных модели нами был выбран ОКИНЭ по причине множества нулевых значений в выборках других показателей инфекционной заболеваемости.

Необходимо отметить, что выборки данных о заболеваемости прошли проверку на нормальность распределения, критерий Шапиро-Уилка не выявил значимых отклонений для каждого из изучаемых районов (Палласовский: W(5)=0,92, p=0,688; Старополтавский: W(5)=0,94, p=0,814; Быковский: W(5)= 0,88, p=0,367; Николаевский: W(5)=0,94, p=0,835). Это обусловило возможность использования данных из всех указанных выборок в процессе однофакторного дисперсионного анализа значимости влияния аридности на эпидемический процесс.

Сопоставление факторной (s_f) и остаточной ($s_{ост}$) дисперсии в ANOVA по критерию Фишера выявили, что значения s_f лежат в области более высоких величин (s_f=10229,2), чем оценка $s_{ост}$ ($s_{ост}$=2468,3). Результаты данного анализа позволяют полагать, что рассматриваемый в нашей гипотезе климатический фактор оказывает значительное влияние за зависимую

переменную (показатель заболеваемости). Проверка нулевой гипотезы путем сравнения средних значений в выборках продемонстрировала значимость их отличий ($F_{набл}$=4,14 > $F_{крит}$=3,24, p=0,024).

Далее нами были определены линейные корреляционные связи и были рассчитаны значения р-критерия в следующих парах:

1. «абсолютные величины вновь выявленных случаев ОКИНЭ» - «стандартный индекс аридности DMI», (r_{yx1});

2. «абсолютные величины вновь выявленных случаев ОКИНЭ» - «модифицированный индекс аридности DMI_m», (r_{yx2}).

Логика интерпретации результатов корреляционного анализа заключается в обратной зависимости между величинами индекса засушливости и заболеваемостью: низкие значения DMI соответствуют нарастанию аридности, высокие – снижению. Полученные результаты для Палласовского, Старополтавского, Быковского и Николаевского административных районов, расположенных в Заволжской части Волгоградской области представлены в таблице 23.

Таблица 23 — Корреляционные связи между показателями заболеваемости и метеорологическими индексами

Административные районы	Годы	Заболеваемость, абсолютные числа (y)	DMI (x_1)	DMI_m (x_2)	Регрессия r_{yx1}, p	Регрессия r_{yx2}, p
Палласовский	2018	153	16,36	3,71	-0,399, 0,506	-0,553, 0,333
	2019	105	14,13	5,70		
	2020	58	10,77	2,94		
	2021	51	19,89	6,41		
	2022	29	23,30	8,09		
Старополтавский	2018	42	20,00	7,04	-0,459, 0,436	-0,557, 0,329
	2019	168	20,37	6,31		
	2020	130	14,58	3,55		
	2021	77	26,60	6,95		
	2022	69	30,77	7,96		
Быковский	2018	0	20,98	6,45	-0,483, 0,410	-0,213, 0,731
	2019	18	16,93	7,34		

Окончание таблицы 23

	2020	22	12,12	3,12		
	2021	14	23,76	9,98		
	2022	15	24,90	9,40		
Николаевский	2018	171	21,61	6,55	-0,683, 0,204	-0,799, 0,104
	2019	66	19,31	7,43		
	2020	206	12,92	3,16		
	2021	107	25,51	10,30		
	2022	43	25,67	9,80		

* - Статистически значимые корреляции при p <0,05

Оценка тесноты связи по шкале Чеддока свидетельствует о том, что значения r_{yx2} для Палласовского, Старополтавского и Николаевского районов находятся в области заметного влияния (0,5–0,7) предиктора DMI_m (x_2) на признак-фактор (y). Однако расчеты p-критерия в малых выборках (n=5) указали на отсутствие значимости во всех корреляционных парах «заболеваемость – DMI_m» для каждого из районов (при p <0,05). Сопоставление рядов данных r_{yx1} и r_{yx2} показало, что во всех районах, кроме Быковского района, модифицированный показатель DMI_m демонстрировал более сильные, но статистически незначимые корреляционные связи с показателем заболеваемости ($T_{набл}$=0,20 <$T_{крит}$=2,24, при p <0,05). Неопределенность результатов исследования здесь может быть связана с проблемой обращаемости населения за медицинской помощью – в 2018 году надзорными органами не было зарегистрировано ни одного случая возникновения ОКИ в Быковском районе.

Еще один фактор неопределенности полученных нами на данном этапе результатов может быть обусловлен экологией различных этиологических типов возбудителей острых кишечных инфекций. Известно, что рост температуры связан с увеличением рисков заболеваемости ОКИ бактериальной природы, в то время как вирусные инфекционные агенты демонстрируют повышение активности при ее снижении (Carlton et al., 2016). В Волгоградской области существует проблема диагностики таксономической принадлежности возбудителей ОКИ – в 2022 году доля

ОКИНЭ в числе случаев возникновения всех острых кишечных инфекций составила 76% (в 2021 – 83%, 2020 – 73%, 2019 – 70%, 2018 – 75%) (Лемешкин и др., 2023).

Вместе с этим, в литературе представлены данные о снижении удельного веса бактериальных ОКИ (преимущественно семейства *Enterobacteriaceae*) в структуре общероссийской заболеваемости при увеличении доли вирусных возбудителей (роды *Norovirus, Rotavirus*), что может быть объяснено совершенствованием методик диагностики (Сергевнин, 2020). Помимо этого, данные обширного метаанализа Chua P. et al. свидетельствуют о том, что рост заболеваемости, связанной с бактериальными возбудителями ОКИ, и температура находятся в прямой зависимости, в то время как повышение температуры приводит к снижению риска вирусных ОКИ (Chua et al., 2021).

Проведенный нами анализ эпидемиологической картины в других регионах Южного федерального округа подтверждает важность диагностики типа возбудителя для повышения надежности результатов исследования. Г.М. Трухина с соавторами отмечает рост вклада вирусных возбудителей в общую заболеваемость ОКИУЭ в Краснодарском крае на фоне повышения уровня этиологической расшифровки природы инфекционного агента в многолетней ретроспективе. Так, на долю возбудителей вирусной природы в структуре ОКИ установленной этиологии в 2018 году по Туапсинскому району приходилось 50,4 %, в то время как в Волгоградской области доля ОКИ вирусной этиологии составила 11,0% в 2022 году (Трухина и др., 2020).

В нашем исследовании была подтверждена гипотеза о прямом влиянии тренда аридности на эпидемический процесс ОКИНЭ, однако повышение доли установленных возбудителей могло бы уточнить результаты, так как полученные коэффициенты корреляции ни в одном из изученных районов не соответствовали области высокого влияния и были статистически незначимы. В целях повышения качества климатической модели прогнозирования рисков роста эпидемической заболеваемости в аридном

Заволжье, в качестве переменной отклика нами был рассчитан интегральный показать, характеризующий обобщенную картину эпидемического процесса ОКИ на всей изучаемой территории – сумма ОКИ (табл. 24).

Таблица 24 — Показатели заболеваемости по сумме ОКИ в районах аридного Заволжья, $P/_{100тыс.}$

Год СГМ	Быковский	Николаевский	Старополтавский	Палласовский
2018	3,97	768,34	298,54	464,19
2019	107,29	336,32	983,74	318,73
2020	199,21	881,89	970,13	378,40
2021	63,57	457,11	472,26	154,55
2022	95,36	185,94	393,42	88,07
СМУ, M±m	93,88±31,84*	525,40±103,72	623,20±146,86	280,40±69,78
Региональный показатель СМУ, M±m	**289,46±60,60**			

*- Статистически значимые различия при p <0,01 ($T_{крит}$=2,31)

Заболеваемость, оцененная по сумме ОКИ, оказалась достоверно ниже среднерегиональной только в Быковском районе ($T_{набл}$=3,00 >$T_{крит}$=2,31, при p <0,05). Показатели суммы ОКИ в каждом из районов были объединены в единый массив зависимой переменной (n=20). Так как модифицированный индекс де Мартонна позволил получить более сильные корреляционные связи, описывающие потенциальные причины роста эпидемической заболеваемостью ОКИ, он был использован нами в качестве предиктора. Еще один аспект выбора регрессора был связан с отсутствием достоверной информации о количестве случаев ОКИ, вызванных возбудителями вирусной природы, активными преимущественно в холодный период года (рис. 20).

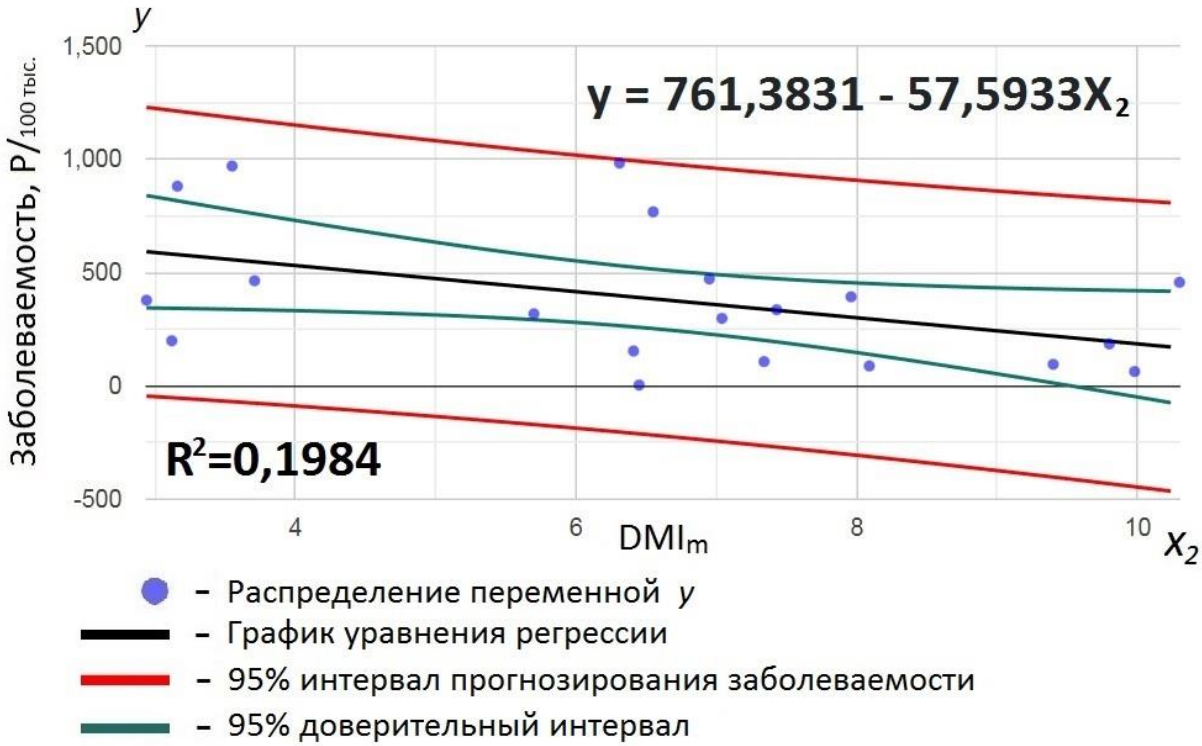


Рисунок 20 – Корреляционная связь между заболеваемостью, оцененной по сумме зарегистрированных случаев ОКИ и DMI_m

Полученный нами в процессе анализа коэффициент линейной парной корреляции r=-0,445 оказался ниже величины 0,5, что не позволяет констатировать достоверный потенциал рассматриваемого показателя DMI_m в прогнозировании роста эпидемической заболеваемости ОКИ в зоне аридного Заволжья. В качестве основной причиной данного феномена видится низкий уровень этиологической расшифровки возбудителей острых кишечных инфекций в регионе.

Заключительная стадия оценки инфекционной заболеваемости, ассоциированной с водным путем передачи, была связана с ранжированием районов аридного Заволжья при помощи метода k-средних. В процессе анализа нами было выделено три кластера: низкой (0), средней (1) и высокой (2) заболеваемости (рис. 21).

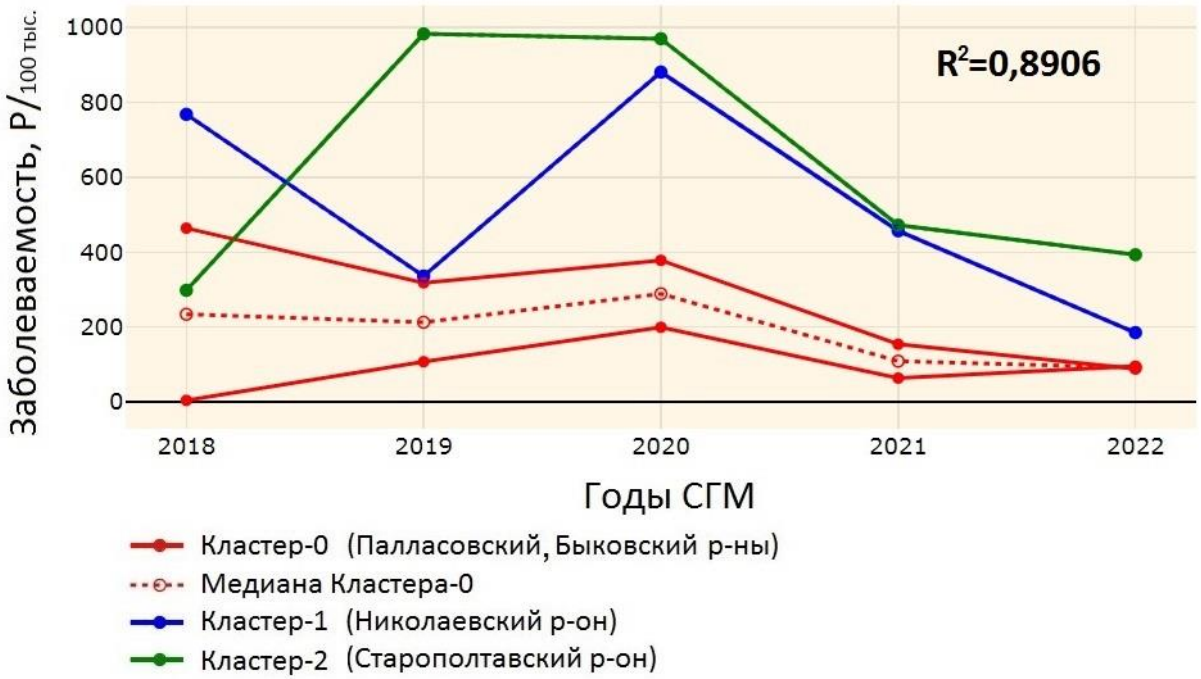


Рисунок 21 – Ранжирование административных территорий аридного Заволжья по показателю общей инфекционной заболеваемости (сумма ОКИ)

Значительный уровень показателя объявленной дисперсии (R^2=0,8906) свидетельствовал о существенности различий кластеров между собой для всех трех территориальных рангов инфекционной заболеваемости и статистической валидности их выделения. Кластеру низкой заболеваемости соответствовали территории, занимаемые Быковским и Палласовским районами, со среднемноголетним уровнем заболеваемости 93,88±31,84 и 280,40±69,78 соответственно; к среднему уровню относился Николаевский район (СМУ заболеваемости – 525,40±103,72). Высокая инфекционная заболеваемость, связанная с водным путем передачи, отмечена в Старополтавском районе со среднемноголетним уровнем 623,20±146,86 случаев на 100 тысяч человек.

Таким образом, проведенный нами анализ указывает на присутствие значимых факторов неопределенности в трактовке влияния атмосферной засухи на эпидемический процесс острых кишечных инфекций, связанных, прежде всего, с низким уровнем этиологической расшифровки принципиальных типов возбудителей. В связи с этим, применение логит-

модели является наиболее адекватным инструментом прогнозирования рисков роста заболеваемости острыми кишечными инфекциями в условиях засушливых территорий Заволжья.

ВЫВОДЫ

1. Литологическая природа водовмещающих пород и геоморфологические особенности Северо-Каспийского бассейна оказывают влияние на формирование несоответствующих санитарно-гигиеническим требованиям подземных вод в Заволжье Волгоградской области. Основными водоносными горизонтами региона являются безнапорные неглубоко залегающие эолово-делювиальные, аллювиальные, и морские терригенные отложения, питаемые атмосферными осадками, просачивающимися из засоленных почв. Водовмещающими породами в аридном Заволжье являются мелко-разнозернистые пески, супеси и суглинки, обуславливающие высокую степень минерализации с превышением ПДК до 30 раз. Основные источники антропогенной нагрузки – агропромышленные комплексы, карьеры добычи твердых полезных ископаемых, а также участки нефтедобычи.

2. Усредненная в многолетней ретроспективе (2017-2022 гг.) сумма осадков в волгоградском Заволжье составила 381,5±26,4 мм (динамика по отношению к 2017 году −5,06%) при среднегодовой температуре воздуха, равной 9,1±0,2°C (+3,33%), что соответствует умеренно аридной зоне (по классификации Б.В. Виноградова). Атмосферная засуха способствует росту концентраций токсикантов в подземных водах аридного Заволжья вследствие увеличения испарения влаги из водовмещающих пород при слабой инфильтрации осадков, что препятствует естественному удалению взвешенных, эмульгированных и растворенных веществ.

3. На территории залегания Северо-Каспийского бассейна подземных вод, типичного для аридного Заволжья, регулярно отмечаются превышения предельно допустимых концентраций хлороформа (до 3,08 ПДК) и общего железа (до 1,78 ПДК) в системах централизованного водоснабжения. В нецентрализованных источниках наиболее часто отмечаются превышения гигиенических нормативов по содержанию нитратов и магния, обусловленные нарушением содержания зон санитарной охраны

водоисточников, а также несоблюдением регламента использования азотных удобрений.

4. Доминирующую роль в развитии риска здоровью, этиологически связанного с потреблением подземных вод в аридном Заволжье, играют хлороформ, нитраты, магний и железо. Вклад нитратов, магния и натрия, занимающих вторую, третью и четвертую ранговые позиции в картине риске, составлял 7,61-17,07%, 9,70-11,88% и 2,95-14,55% соответственно. При этом, доля ингаляторного поступления хлороформа в общую величину риска, связанного с этим веществом, равна 73,61%. Учет многосредового поступления данного токсиканта свидетельствует о том, что общая доля хлороформа в картине неканцерогенный опасности составляет 64,81-83,28%.

Основными критическими системами, подвергающимися опасности, являются центральная нервная и сердечно-сосудистая системы, почки печень, кровь. Риск развития ольфакторно-рефлекторных эффектов у потребителей подземных вод преимущественно обусловлен показателем общего железа. Для территорий, благополучных по содержанию железа, основным фактором, определяющим органолептический риск, являются сульфаты.

5. Установлена прямая достоверная корреляционная связь между уровнем неинфекционной заболеваемости населения административных районов аридного Заволжья по основным классам болезней (болезни крови, органов пищеварения, мочеполовой, нервной и сердечно-сосудистой систем) и ассоциированным с ним неканцерогенным риском. Доказан доминирующий вклад ионов магния в развитие уролитиаза при потреблении несоответствующих требованиям вод в исследуемом регионе.

6. При ранжировании административных территорий по показателю суммы выявленных острых кишечных инфекций Старополтавский район был отнесен к кластеру высокой заболеваемости, а Быковский и Палласовский районы — к кластеру низкой заболеваемости. Построение логит-модели, опирающейся на показатель среднеобластной доли несоответствующих

требованиям проб воды по микробиологическим показателям качества, позволяет достоверно прогнозировать риски роста заболеваемости острыми кишечными инфекциями на территории административных районов, относящихся к аридному Заволжью.

7. Устойчивый тренд к нарастанию аридности в Заволжье характеризуется высокой достоверной степенью корреляции (диапазон r=-0,909 – -0,992, p <0,001) с многолетней динамикой рисков здоровью, связанных с потреблением подземных вод. Спутниковый индекс засушливости NDMI позволяет надежно прогнозировать динамику медико-экологической ситуации в системе «дистанционное зондирование Земли – неканцерогенный риск – неинфекционная заболеваемость».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулмуталимова, Т. О. Оценка канцерогенного риска здоровью населения при использовании подземных вод с высоким содержанием мышьяка в качестве источников питьевого водоснабжения на примере Республики Дагестан / Т.О. Абдулмуталибова // Токсикологический вестник. – 2019. – №. 6 (159). – С. 39–44.
2. Абрамкин, А. В. К вопросу о биогеохимических провинциях и гигиенической оценке качества питьевой воды / А. В. Абрамкин // Sciences of Europe. – 2016. – №. 8-1 (8). – С. 18–22.
3. Адамович, Т.А. Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий / Т. А. Адамович, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – №3. – С.15–24.
4. Агалакова, Н. И. Влияние неорганического фтора на живые организмы различного филогенетического уровня / Н. И. Агалакова, Г. П. Гусева // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2011. –Т. 47. – № 5. – С. 337–347.
5. Анганова, Е. В. Бактерии рода *Klebsiella* в этиологической структуре бактериальных ОКИ: оценка их патогенности на уровне фено- и генотипа / Е. В. Анганова, А. В. Духанина, Е. Д. Савилов / Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2011. – №. 6 (61). – С. 62–65.
6. Анисимов, Л. А. Проблемы водоснабжения Палласовского района Волгоградской области и пути их решения / Л. А. Анисимов, Е. С. Солодкова // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2013. – №. 73. – С. 11–20.
7. Арустамов, Э. А. Подземные воды РФ: ресурсный потенциал и проблемы его рационального использования / Э. А. Арустамов, А. А. Медведков, О. А. Пястолов // Географическая среда и живые системы. – 2020. – № 4. – С. 17–27. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-4-17-27.

8. Бочаров А. И., Коломенская В. Г. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Волгоградской области на 15.03. 2021 г // Образование. – Т. 3. – С. 5.
9. Байдакова, Е. В. Вирусное загрязнение питьевой воды и заболеваемость кишечными инфекциями в г. Архангельске / Е. В. Байдакова // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. – 2016. – С. 67–69.
10. Безгодов, И. В. Качество питьевой воды и риск для здоровья населения сельских территорий Иркутской области / И. В. Безгодов, Н. В. Ефимова, М. В. Кузьмина // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94. – № 2. – С. 15–19.
11. Беляев Е. Н. Питьевая вода и здоровье населения / Е.Н. Беляев, С. Г. Домнин, А. В. Митин. – Вып. 1: Влияние химического состава воды на здоровье населения. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 63 с.
12. Богданова, О. Г. Оценка риска для здоровья населения Республики Бурятия, обусловленного повышенным поступлением нитратов и нитритов / О. Г. Богданова, Н. В. Ефимова, Е. Е. Багаева //Экология человека. – 2022. – №. 1. – С. 46–58.
13. Богданова, В.Д. Гигиеническая оценка питьевой воды из подземных источников централизованных систем водоснабжения острова Русский / В. Д. Богданова, П. Ф. Кику, Л. В. Кислицына // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 2. – С. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.03.
14. Болгов, М. В. Водохозяйственные и экологические проблемы Нижней Волги и пути их решения / М. В. Болгов, А. П. Демин // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – № 2. – С. 211–220. – DOI: 10.7868/S0321059618020116.

15. Брылев В. А. Формирование побережья нижней части Волгоградского водохранилища // В. А. Брылев, А. Ю. Овчарова // Геоморфология. – 2016. –№2. – С.18–26. – DOI: 10.15356/0435-4281-2016-2-18-26
16. Валеев, Т. К. Эколого-гигиеническая оценка риска здоровью населения нефтедобывающих территорий, связанного с употреблением питьевых вод / Т. К. Валеев, Р. А. Сулейманов, А. Б. Бакиров, Г. Г. Гимранова, Р. А. Даукаев, Г. Р. Аллаярова, Н. Р. Рахматуллин, Н. Н. Егорова, З. Б. Бактыбаева // Эколого-гигиеническая оценка риска здоровью населения нефтедобывающих территорий, связанного с употреблением питьевых вод // Медицина труда и экология человека. – 2016. – №2 (6). – С.25–32.
17. Валеев, Т. К. Оценка риска здоровью населения территорий нефтедобычи / Т. К. Валеев, Р. А. Сулейманов, Н. Р. Рахматуллин, А. А. Гайсин, З. Б. Бактыбаева, И. М. Нигматулин //Актуальные проблемы охраны здоровья человека в экологически неблагополучных условиях. – 2016. – С. 15–21.
18. Виноградов, Б. В. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии / Б. В. Виноградов, А. Д. Сорокин, П. Ф. Федотов // Биота и природная среда Калмыкии: Сборник статей под ред. И.С. Зонна и В.М. Неронова. – М.: ТОО “Коркис”, 1995. – С. 253–258.
19. Виттенберг А.Г., Новикайте Н.В. Газохроматографическое определение летучих веществ в воде методом проточного парофазного анализа // Ж. аналит. химии. 1999. Т. 54, № 3. С. 300-307.
20. Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков. – 2012. –№1090 // Комплексная программа управления засухой: официальный сайт Integrated Drought Management Programme – URL: https://www.droughtmanagement.info/about/
21. ГИС-Атлас «Недра России»: руководство пользователя : версия 1.1 / М-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию [и др.] ; сост.: О. В.

Петров [и др.] ; редакторы: О. В. Петров, Е. И. Петров. – Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2022. – 85 с.

22. Горбанев, С. А. Обоснование выбора приоритетных показателей для контроля качества воды водоносных горизонтов. / С. А. Горбанев, А. А. Степанян, Д. С. Исаев, Н. А. Мозжухина, Г. Б. Еремин, И. О. Мясников И.О. // Гигиена и санитария. – 2022 – №101(8) – С.842–849. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-842-849.
23. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области в 2022 году. – Волгоград, 2023. – 258 с.– Текст: электронный // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в Волгоградской области– URL: https://34.rospotrebnadzor.ru/content/282/13858/ (дата обращения 5.05.2024 г.).
24. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской федерации в 2022 году. – Москва, 2023. – 368 с.– Текст: электронный // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека: официальный сайт Роспотребнадзора – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=25076 (дата обращения 5.05.2024 г.).
25. Гусева, Н. В. Механизмы формирования химического состава природных вод в различных ландшафтно-климатических зонах горно-складчатых областей Центральной Евразии: дисс. … д-ра геолого-минералогических наук: спец. 25.00. 07 / Н. В. Гусева; Томский политехнический университет. – Томск, 2018. – 300 с.
26. Гусева, Н. В. Формирование химического состава подземных солоноватых и рассольных вод Тувинского прогиба и его обрамления / Н. В. Гусева, Ю. Г. Копылова, Ч. К. Ойдуп, К. Д. Аракчаа, К. М.

Рычкова, А. А. Хващевская, О. Д. Аюнова // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. – №. 2. – С. 172–182.

27. Данилов-Данильян, В.И. Рынки воды и водохозяйственных услуг в мире и Российской Федерации. Ч. II / В. И. Данилов-Данильян, А. П. Демин, В. Г. Пряжинская, И. В. Покидышева // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42. –№.3. – С.329–342.
28. Данилов-Данильян, В. И. О репрезентативности санитарно-гигиенических данных / В. И. Данилов-Данильян, О. М. Розенталь // Гигиена и санитария. – 2023. – Т.102. №2. – С. 206–210. – DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-206-210
29. Демидов, А. Л. Экологическая оценка воздействия объектов захоронения отходов потребления на подземные воды / А. Л. Демидов, С. И. Кузьмин, О. М. Олешкевич // Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География. – 2016. – №. 3. – С. 154–158.
30. Демин, А. П. Региональные различия в обеспечении населения России централизованным водоснабжением и безопасной питьевой водой / А. П. Демин // Региональные исследования. – 2019. –№ 2. – С. 80–91. – DOI: 10.5922/1994-5280-2019-2-8
31. Дехканов, К. А. Физиологические аспекты обмена некоторых микроэлементов в норме и при мочекаменной болезни у детей / К. А. Дехканов, Н. У. Утегенов, А. Б. Курбанов, С. Т. Реймбергенова // Новый день в медицине. – 2013. – №. 2(2). – С. 12–17.
32. Джамали, З. Прогнозирование изменений на засушливых территориях с использованием статистической модели масштабирования (SDSM) в западной части Горганской равнины, Иран / З. Джамали, З. Хейдаризади // Аридные экосистемы. –2022. –Т. 28. – №4. – С. 4–12. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12
33. Дмитриева, Р. А. Вода и кишечные вирусные инфекции / Р. А. Дмитриева, Т. В. Доскина // РЭТ-инфо. – 2005. – №. 2. – С. 48–51.

34. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2021 году» / Ред. колл.: Е. П. Православнова [и др.]; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград: «ТЕМПОРА», 2022. – 300 с.
35. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2022 году» / А. В. Лемешкин, Н. В. Петрова, С. В. Солохина [и др.] ; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград: ТЕМПОРА, 2023. – 300 с.
36. Дьяченко Н. П. Эколого-геоморфологические аспекты карьерной добычи на территории Волгоградской области // Грани познания. – 2014. – №. 4. – С. 47-53.
37. Егорова, Н.А. Гигиеническая оценка продуктов хлорирования питьевой воды с учетом множественности путей поступления в организм / Н. А. Егорова, А. А. Букшук, Г. Н. Красовский // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 100. – №2. – С. 99–110. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-99-110.
38. Ерзова, В. А. О воздействии объектов северо-западного атомно-промышленного комплекса на загрязнение подземных вод (Ленинградская область) / В. А. Ерзова. В. Г. Румынин, С. М. Судариков, А. А. Шварц, К. В. Владимиров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – №. 9. – С. 30–42.
39. Жолдакова, З. И. Перспективы совершенствования организационно-правовых и методических мер по управлению качеством окружающей среды / З. И. Жолдакова, С. М. Юдин, О. О. Синицына, О. В. Бударина, Н. С. Додина // Гигиена и санитария. –2018. – № 97 (11). – С.1026–1031. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-11-1026-31.
40. Зайцева, Н. В. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором / Н. В. Зайцева, И. В. Май, Д. А. Кирьянов,

Д. В. Горяев, С. В. Клейн // Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором // Анализ риска здоровью. – 2016. – №4. – С. 4–16. –DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.01

41. Зайцева, Н. В. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора / Н. В. Зайцева, А. С. Сбоев, С. В. Клейн, С. А. Вековшинина. // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 2. – С. 44–52.– DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05.
42. Закутин, В. П. Основные особенности геохимии бора в пресных подземных водах / В. П. Закутин, А. Ю. Вавичкин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2010. – № 1. – С. 30–39.
43. Залибеков, З.Г. Об использовании пресных подземных вод засушливых регионов мира в борьбе с опустыниванием земель / З. Г. Залибеков, С. А. Мамаев, А. Б. Биарсланов, Р. А. Магомедов, Д. Б. Асгерова, У. М. Галимова // Аридные экосистемы. – 2019. – Т.25. – №2(79). – С.3–17. – DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10048.
44. Застрожнов С.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Восточно-Европейская. Лист М-38 – Волгоград. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 399 с.
45. Злобина, В. Л. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. Монография / В. Л. Злобина, Ю. А. Медовар, И.О. Юшманов. – М.: Мир науки, 2017. –191 с. – Режим доступа: http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.pdf
46. Золотокрылин, А. Н. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами / А. Н. Золотокрылин, Е. А. Черенкова, Т. Б. Титкова // Известия Российской академии наук. Серия

географическая. – 2020. –Т.84. – №.2. –С. 207–217. – DOI: 10.31857/S258755662002017X.

47. Иванова, Л. В. Обоснование значимости показателя Pseudomonas aeruginosa при оценке качества питьевой воды / Л. В. Иванова, Т. З. Артемова, Е. К. Гипп, А. В. Загайнова, Т. Н. Максимкина, А. В. Красняк, С. С. Корнейчук // Гигиена и санитария. – 2013. – Т.92. – №. 4. – С. 29–32.
48. Иванютин, Н. М. Интегральная оценка питьевых вод из подземных источников бассейна реки Салгир / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова, А. М. Джапарова // Гигиена и санитария. – 2022 – Т.101. –№5 – С.493–502. – DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-5-493-502.
49. Иксанова, Т. И. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды / Т. И. Иксанова, А. Г. Малышева, Е. Г. Растянников [и др.] // Гигиена и санитария. – 2006. – №. 2. – С. 10–14.
50. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2022 г. – Вып. 46. URL: https://specgeo.ru/monitoring-sostoyaniya-nedr/gosudarstvennyy-monitoring-nedr-gmsn/production-info-rf/ https://specgeo.ru/upload/iblock/6f9/zl8rp9a7plq4obys4rbib6cjp47q5s69.pdf
51. Каратаев О. Р. Сравнительная оценка хлорирующих препаратов при обработке воды плавательных бассейнов //Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – №. 1 (11). – С. 221-225.
52. Клейн, С. В. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения / С. В. Клейн, С. А. Вековшинина //Анализ риска здоровью. – 2020. – №. 3. – С. 49–60. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.06.
53. Клейн, С. В. Проблемы анализа, прогнозирования и ранжирования химических рисков для здоровья (обзор научной литературы) / С.В.

Клейн, С.А. Вековшинина, Н.В. Никифорова, А.А. Хасанова, К.В. Четверкина// Анализ риска здоровью – 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2022: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – С. 42–51.

54. Клюшникова, Н. М. Дешифрирование сельскохозяйственных земель Волгоградского Заволжья / Н. М. Клюшникова //Грани познания. – 2013. – №. 3. – С. 40 – 44.
55. Ковальчук, В. К. Влияние питьевой воды систем хозяйственно-питьевого водоснабжения на возникновение уролитиаза у населения Приморского края в 1991–2015 годах / В. К. Ковальчук, Д. В. Маслов // Гигиена и санитария. – 2021. – Т.100. – №4. – С.300–306. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-300-306
56. Ковшов, А. А. Оценка рисков нарушений здоровья, связанных с качеством питьевой воды, в городских округах арктической зоны Российской Федерации / А. А. Ковшов, Ю. А. Новикова, В. Н. Федоров, Н. А. Тихонова // Вестник уральской медицинской академической науки. – 2019. – Т. 16. – № 2. С. 215–222. – DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222.
57. Коньшина, Л. Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга / Л. Г. Коньшина // Гигиена и санитария. –2019. – Т. 98. – № 9. – С. 997–1003. – DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-9-997-1003
58. Косарев, А. В. Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью, обусловленных качеством питьевой воды родников аридной

зоны / А. В. Косарев, Д. Е. Иванов, А. Н. Микеров, К. А. Савина // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99. – №. 11. – С. 1294–1300. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1294-1300

59. Косарев, А. В. Применение геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли для оценки влияния аридности территории на качество воды малых рек / А. В. Косарев, Д. Е. Иванов, А. Н. Микеров, К. А. Савина, Т. К. Валеев, Р. А. Сулейманов // Гигиена и санитария. – 2021. –Т. 100. – №10. – С. 1052–1059. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1052-1059.
60. Краснова, Е. М. Совершенствование эпидемиологического надзора за кишечными инфекциями в Волгоградской области / Е. М. Краснова, О. Б. Бондарева, В.П. Смелянский // Инфекция и иммунитет. – 2017. – №. S. – С. 133–133.
61. Красовский, Г. Н. Гигиеническое обоснование оптимизации интегральной оценки питьевой воды по индексу качества воды / Г. Н. Красовский, Ю. А. Рахманин, Н. А. Егорова // Гигиена и санитария. – 2015. –Т. 94. –№5. – С. 5–10.
62. Крестовский, О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек / О. И. Крестовский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 118 с.
63. Крючков, С. Н. Поиски и оценка подземных вод на участке недр «Приозерный» в Палласовском районе Волгоградской области (отчет по договору №20/9-2010/46-2010 от 20.09.2011) / С. Н. Крючков. – Волгоград, 2011.
64. Латышевская, Н. И. Сравнительная характеристика органолептических и неканцерогенных рисков здоровью, ассоциированных с употреблением воды из нецентрализованных подземных источников в различных районах Волгоградской области / Н. И. Латышевская, Д. С. Новиков // Анализ риска здоровью - 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания : Материалы X Всероссийской научно-

практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Пермь, 13–15 мая 2020 года / Под редакцией А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. Том 1. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – С. 499–506.

65. Лебедева, Е. Г. Учредители: Национальный исследовательский Томский политехнический университет / Е. Г. Лебедева, Н. А. Харитонова, И. В. Брагин и др. // Известия томского политехнического университета. – 2023. – Т. 334. – №. 1. – С. 116 –125.
66. Левин, Е. В. Геологические условия формирования радиоактивных подземных вод на территории восточного Оренбуржья / Е. В. Левин, Н. П. Галянина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – №. 6 (68). – С. 212–216.
67. Лепокурова, О. Е. Химический и микробиологический состав подземных вод децентрализованного водоснабжения южных и центральных районов Томской области / О. Е. Лепокурова, И. С. Иванова, С. Л. Шварцев, Ю. В. Колубаева, Н. Г. Наливайко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 5. – С. 29–41.
68. Лукьянчиков, В. М. Состояние минерально-сырьевой базы подземных вод России, проблемы ее учета и воспроизводства / В. М. Лукьянчиков, Р. И. Плотникова, Л. Г. Лукьянчикова // Разведка и охрана недр. –- 2014. –- № 8. –С. 15–23.
69. Мамонова И. А. и др. Влияние потребления артезианской воды, подаваемой через систему централизованного водоснабжения, на здоровье населения аридных районов Саратовской области // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2024. – Т. 32. – №. 1. – С. 49-57.
70. Мельцер, А. В. Гигиеническое обоснование оценки качества питьевой воды по показателям эпидемиологической безопасности с использованием методологии оценки риска здоровью населения / А. В.

Мельцер, А. В. Киселев, Н. В. Ерастова // Профилактическая и клиническая медицина. – 2015. – Т. 56. – № 3. – С. 12–17.

71. Мякишева, Н. В. Моделирование индекса увлажненности озерных бассейнов в условиях неопределенности и дефицита исходной информации / Н. В. Мякишева, Н. В. Хованов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – № 16. – С. 5–13.
72. Нефедова, Е. Д. Риск-ориентированный подход к организации контроля качества питьевой воды / Е. Д. Нефедова, М. М. Хямяляйнен, И. Б. Ковжаровская, Г. В. Шевчик // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 3. – С. 5–9.
73. Новиков, Д. С. Анализ ольфакторных и неканцерогенных рисков здоровью, обусловленных употреблением высокоминерализованных подземных вод на территории Палласовского района Волгоградской области / Д. С. Новиков // Анализ ольфакторных и неканцерогенных рисков здоровью, обусловленных употреблением высокоминерализованных подземных вод на территории Палласовского района Волгоградской области / Д. С. Новиков // Фундаментальная наука в современной медицине 2020 : Материалы сателлитной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Минск, 14 апреля 2020 года / Под редакцией А.В. Сикорского, В.Я. Хрыщановича, Т.В. Горлачевой, Ф.И. Висмонта. – Минск: Белорусский государственный медицинский университет, 2020. – С. 227–229.
74. Новиков, Д. С. Индекс засушливости территорий как предиктор изменений содержания марганца в подземных водах хозяйственно-питьевого назначения (на примере Нижневолжского бассейна) / Д. С. Новиков // Профилактическая медицина-2022: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (к 100-летию государственной санитарно-эпидемиологической службы России). Санкт-Петербург, 30 ноября — 1

декабря 2022 г. / под ред. А.В. Мельцера, И.Ш. Якубовой. — Санкт-Петербург: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2022. — С. 223–227.

75. Новиков, Д. С. Исследование многолетней динамики органолептических рисков здоровью населения волгоградского Заволжья, формируемых подземными водами, с использованием дистанционного зондирования [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/6/st_613.pdf. – DOI: 10.51419/202126613.
76. Новиков, Д. С. Минерализация подземных вод Заволжья Волгоградской области как источник ольфакторных и неканцерогенных рисков здоровью / Д. С. Новиков // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, 27-29 мая 2020 г. – Саратов: Амирит, 2020. – С. 150–152.
77. Новиков, Д. С. Разработка геоинформационной модели - предиктора роста эпидемической заболеваемости, ассоциированной с экологическим неблагополучием аридизированных территорий Юга России / Д. С. Новиков, А. Н. Головачева // Сборник проектов конкурса "Всероссийская научная школа "Медицина молодая" : III научно-образовательный форум, Москва, 07 декабря 2023 года. – Москва: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОНД РАЗВИТИЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМ. В.П. ФИЛАТОВА, 2023. – С. 439–444.
78. Новиков, Д. С. Оценка риска здоровью, ассоциированного с пероральным поступлением экотоксикантов из подземных вод приволжской песчаной гряды / Д. С. Новиков // Наука Юга России. – 2023. –Т. 19. – № 1. – С. 77–86. – DOI: 10.7868/25000640230109.
79. Новиков, Д. С. Потенциал ГИС-анализа в оценке показателей, формирующих риск органолептических эффектов подземных вод / Д. С.

Новиков, Н. И. Латышевская // Взаимодействие науки и практики. Опыт и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня образования государственной санитарно-эпидемиологической службы России. – Екатеринбург, 2022. – С. 98–101.

80. Новиков, Д. С. Прогнозирование риска здоровью населения юга России с применением спутниковых и климатических показателей засушливости / Д. С. Новиков, Н. И. Латышевская // Экология человека. – 2023. – Т. 30. – № 9. – С. 707–720. – DOI: 10.17816/humeco601812.
81. Новиков, Д. С. Индекс де Мартонна в оценке заболеваемости острыми кишечными инфекциями на территории юга России / Д. С. Новиков, Н. И. Латышевская // Экологический вестник Донбасса. – 2023. – № 10. – С. 17-23.
82. Новиков, Д. С. Исследование неканцерогенного риска здоровью населения при пероральном потреблении некондиционных подземных вод Нижневолжского бассейна / Д. С. Новиков, Л. П. Руруа, М. Д. Ковалева // Известия Байкальского государственного университета. – 2023. – Т. 33. – № 3. – С. 590–598. – DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(3).590-598.
83. Новиков, Д. С. Оценка риска здоровью, ассоциированного с употреблением воды подземных источников Апшеронского комплекса Приэльтонья / Д. С. Новиков, Ю. Д. Фролова // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2022. – № 1 (57). – С. 73–81. – DOI: 10.36906/2311-4444/22-1/08.
84. Новиков, С. М. Актуальные вопросы методологии и развития доказательной оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ / С. М. Новиков, М. В. Фокин, Т. Н. Унгуряну // Гигиена и санитария. – 2016. – Т.95. – №8 –С.711–716. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716.

85. Новикова А. Ф., Панкова Е. И., Контобойцева А. А. Зональные, провинциальные и литолого-геоморфологические особенности проявления засоленности почв в Южном федеральном округе России // Почвоведение. – 2011. – №. 8. – С. 923-939.
86. Онищенко, Г. Г. Оценка и управление рисками для здоровья как эффективный инструмент решения задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации / Г. Г. Онищенко // Анализ риска здоровью. – 2013. – №1. – С.4–14. – DOI: 10.21668/health.risk/2013.1.01.
87. Панкова, Е. И. Современные тренды развития почв солонцовых комплексов на юге степной и в полупустынной зонах в природных условиях и при антропогенных воздействиях / Е. И. Панкова, И. Н. Горохова, М. В. Конюшкова [и др.] // Экосистемы: экология и динамика. 2019. –Т. 3. – № 2. – С. 44-88. – DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10032.
88. Петров В. Н., Терещенко П. С., Мегорский В. В. Изучение влияния минерального состава питьевой воды на уровень заболеваемости населения в Апатитско-Кировском районе Мурманской области / В. Н. Петров, П. С. Терещенко, В. В. Мегорский // Морская медицина. – 2017. – Т. 3. – №. 3. – С. 86-93.
89. Пинигин, М.А. Гигиеническая регламентация пахучих веществ на основе концепции риска / М. А. Пинигин, И. К. Остапович, А. А. Сафиуллин, Л. А. Тепикина, О. В. Бударина, Е. В. Баева // Гигиеническая наука и практика на рубеже XXI века. Материалы IX Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей / под ред. А. И. Потапова и Г. Г. Онищенко: В 2 т. – Т. 1 – Москва, 2001. – С. 304–307.
90. Попов, А. А. Характеристика риска, связанного с химическим составом питьевой воды, для здоровья населения в сельских районах юга Амурской области / А. А. Попов. // Бюллетень физиологии и патологии

дыхания. – 2017. — №. 63. — С. 85–90. – DOI 10.12737/article_58e45af0046c22.12950196.

91. Попова, А. Ю. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. / А. Ю. Попова, В. Б. Гурвич, С. В. Кузьмин, А. Л. Мишина, С. В. Ярушин // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – №12. – С. 1125–1129. – DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129.
92. Попова, С. А. Интегральная оценка социально-экономического развития сельских территорий Волгоградской области / С. А. Попова, Е. А. Колпакова // Российская экономическая модель-8: будущее в условиях кризиса глобализации –. Краснодар: ФГБУ «Российское энергетическое агентство», 2018. – С. 370–382.
93. Прохорова, Н.Б. Международный научно-практический симпозиум и выставка "Чистая вода России": на острие актуальных проблем развития водного хозяйства / Н.Б. Прохорова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – №2. – С. 100–107.
94. Разумов, В. В. К проблеме подтопления земель на юге европейской части России / В. В. Разумов, Э. Н. Молчанов, А. Я. Глушко, Н. В. Разумова // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2014. –Вып.73. – С.3–28. – DOI: 10.19047/0136-1694-2014-73
95. Рахманин, Ю. А. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности / Ю. А. Рахманин, А. В. Мельцер, А. В. Киселев, Н. В. Ерастова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – №4. – С. 302–305. – DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305
96. Рахманин, Ю. А. Распространение бактерий рода Klebsiella в водных объектах и их значение в возникновении водообусловленных острых кишечных инфекций / Ю. А. Рахманин, Л. В. Иванова, Т. З. Артемова, Е. К. Гипп, А. В. Загайнова, Т. Н. Максимкина, А. В. Красняк, П. В. Журавлев, В. В. Алешня, О. В. Панасовец // Гигиена и санитария. –

2016. – Т. 95. – №. 4. – С. 397–406. – DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-4-397-406

97. Рахманин, Ю. А. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ / Ю. А. Рахманин, Н. С. Додина, А. В. Алексеева // Анализ риска здоровью. – 2023. – №. 4. – С. 33–41.

98. Рахманин, Ю. А. 100 лет законодательного регулирования качества питьевой воды. Ретроспектива, современное состояние и перспективы / Ю. А. Рахманин, Г. Н. Красовский, Н. А. Егорова, Р. И. Михайлова // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 2. – № 9. – С. 5–18.

99. Рахматулина, Л. Р. Оценка риска здоровью населения горнорудных территорий Башкортостана, связанного с качеством питьевого водоснабжения / Л. Р. Рахматуллина, Р. А. Сулейманов, Т. К. Валеев, З. Б. Бактыбаева, Н. Р. Рахматуллин //Анализ риска здоровью. – 2016. – №. 4 (16). – С. 64–71.

100. Розенталь, О. М. Риск-ориентированный подход к оценке качества воды источников питьевого водоснабжения / О. М. Розенталь, Л. Н. Александровская // Гигиена и санитария. – 2019. – Т.98. –№5. – С.563–569. – DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-5-563-569.

101. Романова, Э. П. Новая карта мира «Географические пояса и природные зоны суши Земли» / Э. П. Романова, Н. Н. Алексеева, М. А. Аршинова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2015. – №. 4. – С. 3 – 11.

102. Савельев, С. И. Развитие социально-гигиенического мониторинга на региональном уровне / С. И. Савельев, Г. М. Трухина, В. А. Бондарев, Н. В. Нахичеванская // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95. – №11. – С.1033 – 1036.

103. Сазонова, О. В. Анализ риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды (опыт Самарской области) / О. В. Сазонова, А. К. Сергеев, Л. В. Чупахина, Т. К. Рязанова, Т. В.

Судакова //Анализ риска здоровью. – 2021. – №. 2. – С. 41–51. – DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.04.

104. Свидзинский С. А. и др. Полезные ископаемые нижнепермской галогенной формации западной части Северного Прикаспия и перспективы их промышленного освоения // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2013. – №. 74. – С. 10-15.

105. Сергевнин, В. И. Современные тенденции в многолетней динамике заболеваемости острыми кишечными инфекциями бактериальной и вирусной этиологии / В.И. Сергевнин // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. –2020. – Т. 19. – №4. – С. 14–19. https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-4-14-19.

106. Сериков, Л. В. Цветность подземных вод Западно-Сибирского региона / Л. В. Сериков, Л. Н. Шиян, Е.А. Тропина, П.А. Хряпов // Известия Томского политехнического университета. –2009. – Т. 314. – № 3. – С.54 – 58.

107. Славко В. Д., Андреева О. В., Куст Г. С. Оценка динамики наземного покрова в целях установления нейтрального баланса деградации земель на локальном уровне (для опустыненных угодий сухостепного Заволжья) // Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29. – №. 1 (94). – С. 59-69. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-59-69.

108. Смоляр, В. А. Прогноз изменения ресурсов подземных вод под влиянием климатических условий / В. А. Смоляр // Геология и охрана недр. – 2017. – №. 4. – С. 60–66.

109. Степанова Н. В. Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения при потреблении питьевой воды / Н. В. Степанова., Э. Р. Валеева, С. Ф. Фомина, А. И. Зиятдинова // Гигиена и санитария. – 2016. – Т.95. – №11. –С. 1079–1083. – DOI: 10.18821/0016- 9900-2016-95-11-1079-1083

110. Студеникина, Е. М. Проблемные вопросы использования географических информационных систем в социально-гигиеническом

мониторинге и риск-ориентированном надзоре / Е. М. Студеникина, Ю. И. Степкин, О. В. Клепиков, И. В. Колнет, Л. В. Попова // Здоровье населения и среда обитания. – 2019. – №6. –С. 31–36. – DOI: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-31-36

111. Тарасов, Е. А. Дефицит магния и стресс: вопросы взаимосвязи, тесты для диагностики и подходы к терапии / Е. А. Тарасов, Д. В. Блинов, У. В. Зимовина, Е. А. Сандакова // Терапевтический архив. – 2015. – Т. 87. – №. 9. – С. 114–122. – DOI: 10.17116/terarkh2015879114-122

112. Трифонова, Т.А. Оценка качества питьевой воды родников г. Владимира / Т. А. Трифонова, О. В. Савельев, А. А. Марцев, О. Г. Селиванов, Ю. Н. Курбатов, Л. Н. Романова Л.Н. // Здоровье населения и среда обитания – 2022. – №6. – С.23–31. – DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-6-23-31

113. Трофимов, И. А. Растительность Приерусланской степи Заволжья / И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, М. Л. Опарин, О. С. Опарина // Вопросы степеведения. – 2000. – С. 102–111.

114. Трухина, Г. М. Особенности заболеваемости острыми кишечными инфекциями среди населения Туапсинского района / Г. М. Трухина, Е. П. Лаврик, Ю. В. Иванова // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – Т. 12. – С. 62–68. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-62-68

115. Тулакин, А.В. Риск-ориентированный надзор, как основа обеспечения безопасности питьевой воды: Проблемы и возможности. / А. В. Тулакин, С. И. Плитман, Г. П. Амплеева, О. С. Пивнева // Прикладные информационные аспекты медицины. –2018. –Т. 21. –№3. – С. 28–31.

116. Турбинский В. В. и др. Оценка риска для здоровья населения питьевой воды с повышенным содержанием гумусовых веществ //Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – №. 2 (263). – С. 25-28.

117. Унгуряну, Т. Н. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы) / Т. Н. Унгуряну, С. М. Новиков //Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93. – №. 1. – С. 19–24.

118. Унгуряну Т. Н. Риск для здоровья населения при комплексном действии веществ, загрязняющих питьевую воду // Экология человека. – 2011. – №. 3. – С. 14-20.

119. Фомин, Д. С. Пространственно-временной анализ влажности почв сельскохозяйственных полей / Д. С. Фомин, А. Н. Чащин // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 2. – С. 113–119. – DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-113-119.

120. Хлыстов И. А. и др. Подходы к нормированию органического углерода и необходимость его обязательного контроля в питьевой воде // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – №. 9 (330). – С. 61-66. https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-61-66.

121. Цунин, Н. М. Алгоритм применения результатов социально-гигиенического мониторинга на региональном уровне / Н. М. Цунин, Ю. В. Жернов // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2016 Т.24. №.2. С. 77–81. – DOI 10.1016/0869-866X-2016-24-2-77-81

122. Шинкаренко, С. С. Возможности спутникового мониторинга процессов опустынивания земель на юге России / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 15–19 ноября 2021 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2021. – С. 7. – DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a

123. Шулаев, А. В. К вопросу качества и доступности специализированной помощи пациентам с мочекаменной болезнью в

условиях модернизации первичного звена системы здравоохранения (Обзор литературы) / А. В. Шулаев, М. Э. Ситдыкова, К. И. Гайнетдинов, А. А. Шикалева, Ю. А. Кнни // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2022. – № 2(74). – С. 32–41.

124. Шумова, Н. А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия / Н. А. Шумова // Аридные экосистемы. – 2021. – Т. 27. – № 4(89). – С. 13–24. – DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-13-24.

125. Эльпинер, Л. И. Современные медико-экологические аспекты учения о подземных водах / Л. И. Эльпинер // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 6. – № 94. – С. 39–46.

126. Ямилова, О.Ю. Особенности влияния химических загрязнителей маломинерализованной питьевой воды на здоровье населения Дальнего Востока / О. Ю. Ямилова, В. К. Ковальчук // Российский вестник гигиены. – 2021. – №3. – С. 36–41. DOI: 10.24075/rbh.2021.022.

127. Abascal, E. Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies / E. Abascal, L. Gómez-Coma, I. Ortiz, A. Ortiz // Science of The Total Environment. – 2022, Mar.1. – Vol.810:152233. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152233.

128. Adeyemi, Azeem. Concentrations and health risk assessment of industrial heavy metals pollution in groundwater in Ogun state, Nigeria / Azeem Adeyemi, Ojekunle Zaccheaus // Scientific African. – 2021. – Vol. 11. – DOI:10.1016/j.sciaf.2020.e00666.

129. Alcamo, J. Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals / J. Alcamo // Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2019. – Vol. 36. – P. 126–140. – DOI: 10.1016/j.cosust.2018.11.005.

130. Alley, W. M. The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions / W. M. Alley // Journal of Applied Meteorology. –1984. –Vol. 23. –Issue 7. – P.1100–1109.

131. Araghi, A. Spatiotemporal variations of aridity in Iran using high-resolution gridded data / A. Araghi, C. J Martinez, J. F. Adamowski, J. E. Olesen // International Journal of Climatology. – 2018. – Vol. 38. – No. 6. – P. 2701–2717. – DOI:10.1002/joc.5454.

132. Arshad, M. Performance evaluation of ERA-5, JRA-55, MERRA-2, and CFS-2 reanalysis datasets, over diverse climate regions of Pakistan / M. Arshad, X. Ma, J. Yin, W. Ullah, M. Liu, I. Ullah // Weather and Climate Extremes. – 2021. – Vol. 33. – P. 100373. – DOI: 10.1016/j.wace.2021.100373.

133. Aryan, Y. A comprehensive review of human health risks of arsenic and fluoride contamination of groundwater in the South Asia region / Y. Aryan, T. Pon, B. Panneerselvam, A. K. Dikshit // Jornal of Water Health. –2024. – Feb. No. 22(2). – P. 235–267. DOI: 10.2166/wh.2023.082.

134. Bagheri, A. Total, dietary, and supplemental magnesium intakes and risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: a systematic review and dose–response meta-analysis of prospective cohort studies / A. Bagheri, S. Naghshi, O. Sadeghi, B. Larijani, A. Esmaillzadeh // Advances in Nutrition. – 2021. – Vol.12. – Issue 4. – P. 1196–1210. – DOI: 10.1093/advances/nmab001.

135. Balamurugan P. Non-Carcinogenic Risk Assessment of Groundwater in southern part of Salem District in Tamil Nadu, India / P. Balamurugana, P. S. Kumarb, K. Shankarc, R. Nagavinothinid, K. Vijayasurya // Journal of the Chilean Chemical Society. – 2020. –Vol.65. –No.1. –P.4697–4707. – DOI: 10.4067/S0717-97072020000104697.

136. Baltas, E., 2007: Spatial distribution of climatic indices in northern Greece / E. Baltas // Meteorological Applications. – 2007. – No.14. – P.69–78. – DOI: 10.1002/met.7.

137. Breider, F. Assessing the role of trichloroacetyl-containing compounds in the natural formation of chloroform using stable carbon isotopes analysis / F. Breider, C. N. Albers, D. Hunkeler // Chemosphere. –

2013. – Vol. 90. – Issue 2. – P. 441–448. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.07.058.

138. Carcinogenic and Non-Carcinogenic Human Health Risk From Exposure to Heavy Metals in Surface Water of Padma River / A. Haque, J. AbuSayed, Z. Ferdoushi [et al.]. // Research Journal of Environmental Toxicology. — 2018. — Vol. 12. — P. 18–23. — DOI 10.3923/rjet.2018.18.23

139. Carlton, E. J. Systematic review and meta-analysis of ambient temperature and diarrhoeal diseases / E. J. Carlton, A. P. Woster, P. DeWitt // Int J Epidemiol. – 2016. –Vol. 45. – P. 117–130. DOI: 10.1093/ije/dyv296. Epub 2015 Nov 13.

140. Carpenter D. O. Exposure to chemicals and radiation during childhood and risk for cancer later in life / D. O Carpenter, Sh. Bushkin-Bedient // *J. Adolesc. Health*. – 2013 – No. 52(5). – P. 21–29. – DOI: 10.1016/j.jadohealth.2013.01.027.

141. Chappells, H. Arsenic in Private Drinking Water Wells: an Assessment of Jurisdictional Regulations and Guidelines for Risk Remediation in North America / H. Chappells, L. Parker, C. V. Fernandez [et al.]. // Journal of Water and Health. – 2014. – Vol. 12 – No. 3. – P. 372–92. – DOI 10.2166/wh.2014.054.

142. Chua, P. L. C. Global projections of temperature-attributable mortality due to enteric infections: a modelling study / P. L. C. Chua, V. Huber, C. F. S. Ng // Lancet Planet Health. – 2021. – Vol. 5. – No.7. – P. 436–445. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00152-2.

143. Contamination of water: health risk assessment and treatment strategies / A. Ahamad, S. E. Siddiqui, P. Singh (ed.). – Academic Press, Elsevier, 2021.

144. De França Doria, M. Factors influencing public perception of drinking water quality / M. De França Doria // Water Policy. 2010. No.12. P. 1–19. – DOI: 10.2166/wp.2009.051.

145. De França Doria, M. Perceptions of drinking water quality and risk and its effect on behaviour: a cross-national study / M. de França Doria, N. Pidgeon, P. R. Hunter // Science of the Total Environment. –2009. – Vol.407. – P. 5455–5464. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.06.031.

146. De Martonne, E. Traité de Géographie Physique. / E. De Martonne – Paris, Colin, 1925.

147. De Martonne, E. L'indice d'aridité / E. De Martonne // Bulletin de l'Association de géographes français. – 1926. – Vol. 3. – No. 9. – P. 3–5.

148. Derdous, O. Spatial distribution and evaluation of aridity indices in Northern Algeria / O. Derdous, S. E. Tachi, H. Bouguerra //Arid Land Research and Management. – 2021. – Vol. 35. – No. 1. – P.1–14.

149. Diamantino, T.C. Toxicity of Sodium Molybdate and Sodium Dichromate to Daphnia Magna Straus Evaluated in Acute, Chronic, and Acetylcholinesterase Inhibition Tests / T.C. Diamantino, L. Guilhermino, E. Almeida, A.M. Soares // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2000. – Vol. 45. – No. 3. – P. 253–259. – DOI: 10.1006/eesa.1999.1889.

150. Drobyshev, E. New Insight in Beryllium Toxicity Excluding Exposure to Beryllium-Containing Dust: Accumulation Patterns, Target Organs, and Elimination / E. Drobyshev, L. Kybarskaya, S. Dagaev [et al.] // Arch Toxicol. –2019. – Vol. 93. – P. 859–869. – DOI: 10.1007/s00204-019-02432-7.

151. Ercal, N. Toxic Metals and Oxidative Stress Part I: Mechanisms Involved in Me-tal induced Oxidative Damage / N. Ercal, H. Gurer-Orhan, N. Aykin-Burns // Current Topics in Medicinal Chemistry. – 2001. – Vol. 1. – No. 6. – P. 529–539. – DOI: 10.2174/1568026013394831.

152. Feng, S. A database for characteristics and variations of global compound dry and hot events / S. Feng, X. Wu, Z. Hao, Y. Hao, X. Zhang, F. Hao // Weather and Climate Extremes. – 2020. – Vol. 30:100299. – DOI: 10.1016/j.wace.2020.100299.

153. Field, J. A. Natural Production of Organohalide Compounds in the Environment / J. A. Field // Organohalide-Respiring Bacteria. –2016. – P. 7–29. Springer Berlin Heidelberg. – DOI:10.1007/978-3-662-49875-0_2.

154. Gao, B. Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space / B. Gao // Proc. SPIE. – 1995. – Vol. 2480. Imaging Spectrometry. – P. 225–236. –DOI:10.1117/12.210877.

155. Gibbs, R. J. Mechanisms controlling world water chemistry / R. J. Gibbs // Science. –1970. – Vol. 170. – Issue 3962. – P. 1088–1090. – DOI: 10.1126/science.170.3962.1088.

156. Gretarsdóttir, J. M. Cytotoxicity studies of water soluble coordination compounds with a $[Mo_2O_2S_2]_2^+$ core / J.M. Gretarsdóttir, S. Bobersky, N. Metzler-Nolte, S.G. Suman. // Journal of Inorganic Biochemistry. — 2016. — Vol. 160. — P. 166 –171. – DOI 10.1016/j.jinorgbio.2016.01.020.

157. Hislop, S. Using landsat spectral indices in time-series to assess wildfire disturbance and recovery / S. Hislop, S. Jones, M. Soto-Berelov, A. Skidmore, A. Haywood, T. H. Nguyen // Remote sensing. – 2018. – Vol. 10. – Issue 3. – P. 460.

158. Hughes, M. F. Arsenic Toxicity and Potential Mechanisms of Action / M.F. Hughes // Toxicology letters. – 2002. – Vol. 133. – No 1. – P. 1–16. – DOI: 10.1016/s0378-4274(02)00084-x.

159. Hunkeler, D. Demonstrating a natural origin of chloroform in groundwater using stable carbon isotopes / D. Hunkeler, T. Laier, F. Breider, O. S. Jacobsen // Environmental science and technology. – 2012. –Vol.46. – Issue 11. – P.6096–6101. – DOI: 10.1021/es204585d.

160. Lead and lead eompounds: lead and inorganie lead eompounds (group 2b) organolead eompounds (Group 3) // IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs. Vol. 1 to 42. – Lyon, 1987. – P. 230–232.

161. Jamali, Z. Future changes in dry conditions using statistical downscaling model (SDSM) in the western region of Gorgan plain, Iran / Z.

Jamali, Z. Heidarizadi // Arid Ecosystems. – 2022. – Vol. 28. – No 4(93). – P. 4–12. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12.

162. Jasechko, S. Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally / S. Jasechko, H. Seybold, D. Perrone, Y. Fan, M. Shamsudduha, R. G. Taylor, O. Fallatah, J. W. Kirchner // Nature – 2024 – No.625. – P.715–721. – DOI: 10.1038/s41586-023-06879-8

163. Jin, Y. Remote Sensing-Based Biomass Estimation and Its Spatio-Temporal Variations in Temperate Grassland, Northern China / Y. Jin, X. Yang, J. Qiu, J. Li,T. Gao, Q. Wu, F. Zhao, H. Ma, H. Yu, B. Xu // Remote. Sens. – 2014. – No 6(2). – P.1496–1513.– DOI: 10.3390/rs6021496.

164. Jutglar, K. Post-drought increase in regional-scale groundwater nitrate in southwest Germany / K. Jutglar, J. Hellwig, M. Stoelzle, J. Lange // Hydrological Processes. – 2021. – Vol. 35. – Issue 8. e14307. – DOI: 10.1002/hyp.14307.

165. Kasawani, I. Analysis of spectral vegetation indices related to soil-line for mapping mangrove forests using satellite imagery / I. Kasawani, U. Norsaliza., I. Mohdhasmadi // Appl. Remote Sens. J. – 2010. – Vol. 1. – No 1. – P. 25–31.

166. Kubicz, J. Effects of drought on environmental health risk posed by groundwater contamination / J. Kubicz, P. Lochyński, A. Pawełczyk, M. Karczewski // Chemosphere. Vol. 263, January 2021, 128145 – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128145.

167. Langan, S. M. Flares in childhood eczema / S. M. Langan // Skin Therapy Letter. – No 14(8) – P. 14–27.

168. Li, Z.-L. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives / Z-L., B.-H. Tang, H. Wu, H. Ren, G. Yan, Z. Wan, I. F. Trigo, J. A. Sobrino // Remote sensing of environment. – 2013. – Vol. 131. – P. 14–37. – DOI: 10.1016/j.rse.2012.12.008.

169. Mahagamage, M. Contamination status of Salmonella spp., Shigella spp. and Campylobacter spp. in surface and groundwater of the Kelani River

Basin, Sri Lanka / M. Mahagamage, M. Pathirage, P. M. Manage // Water. – 2020. – Vol. 12(2187). – No. 8. – P.1–17.

170. Malakhov, D. Calculation of the biophysical parameters of vegetation in an arid area of south-eastern Kazakhstan using the normalized difference moisture index (NDMI) / D. V. Malakhov, N. Yu. Tsychuyeva // Cent Asian J Environ Sci Technol Innov. – 2020. – Vol. 4. – No 1. – P. 189–198. DOI: 10.22034/CAJESTI.2020.04.01.

171. Menció A, Mas-Pla J, Otero N, Regàs O, Boy-Roura M, Puig R, Bach J, Domènech C, Zamorano M, Brusi D, Folch A. Nitrate pollution of groundwater; all right…, but nothing else? / A. Menció, J. Mas-Pla, N. Otero, O. Regàs, M. Boy-Roura, R. Puig, J. Bach, C. Domènech, M. Zamorano, D. Brusi, A. Folch // Science of The Total Environmen. – 2016 Jan 1. – Vol. 539. – P. 241–251. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.151.

172. Mukhopadhyay, S. Evaluation of possible goitrogenic and anti-thyroidal effect of nitrate, a potential environmental pollutant | S. Mukhopadhyay // Indian J Physiol Pharmacol. – 2005. – Vol. 49. – No.3. – P. 284–288.

173. Muller, S. J. Assessing the fidelity of Landsat-based fAPAR models in two diverse sugarcane growing regions / S. J. Muller, P. Sithole, A. Singels, A. Van Niekerk // Computers and electronics in agriculture. – 2020. – Vol. 170. – P. 105248. – DOI: 10.1016/j.compag.2020.105248.

174. Narasimhan, B. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. / B. Narasimhan, R. Srinivasan // Agricultural and Forest Meteorology. – 2005. –Vol. 133. – Issues 1–4, 10 November. – P. 69–88.

175. National library of medicine. National center of Biotechnology Information. — URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34084916/.

176. Owen, A. J. A mental models approach to customer perception of drinking water supply and quality / A. J. Owen, J. S. Colbourne, C. R. I.

Clayton, C. Fife-Schaw, // Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management. – 1999. – No. 13(4). – P. 241–244.

177. Peng, P. Metagenomic- and Cultivation-Based Exploration of Anaerobic Chloroform Biotransformation in Hypersaline Sediments as Natural Source of Chloromethanes / P. Peng, Y. Lu, T. N.P. Bosma, I. Nijenhuis, B. Nijsse, S. A. Shetty, A. Ruecker, A. Umanets, J. Ramiro-Garcia, A. Kappler, D. Sipkema, H. Smidt, S. Atashgahi // *Microorganisms.* – 2020. – Vol. 8. – Issue 5, 665. – DOI: 10.3390/microorganisms8050665.

178. Principles of neural science / ed. E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth (5th ed.). – New York, 2013. – 1760 p.

179. Prüss-Ustün, A. Diseases due to unhealthy environmental: as updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health / A. Prüss-Ustün, J. Wolf, C. Corvalán, T. Neville, R. Bos, M. Neira // Journal of Public Health. – Vol. 39. – No. 3. – P. 464–475 39(3): 464–475. doi: 10.1093/pubmed/fdw085.

180. Rodell, M. Emerging trends in global freshwater availability / M. Rodell, J. S. Famiglietti, D. N. Wiese, J. T. Reager, H. K. Beaudoing, F. W. Landerer, M. H. Lo // Nature. – 2018, May. – No. 557(7707). – P. 651–659. – DOI: 10.1038/s41586-018-0123-1.

181. Rosa, L. Global agricultural economic water scarcity. / L. Rosa, Davide D. Chiarelli, M. C. Rulli, J. Dell'Angelo, P. D'Odorico // Science Advances. – 2020. – Vol. 6. – No. 18. – DOI: 10.1126/sciadv.aaz6031.

182. Samet, J. M. The IARC Monographs: Updated Procedures for Modern and Transparent Evidence Synthesis in Cancer Hazard Identification / J. M. Samet, W. A. Chiu, V. Cogliano, J. Jinot et al // JNCI: Journal of the National Cancer Institute. – 2020. –Vol. 112. – Issue 1, January – P. 30–37. – DOI: 10.1093/jnci/djz169.).

183. Soldatova, S. Shallow Groundwater Quality and Associated Non-Cancer Health Risk in Agricultural Areas (Poyang Lake basin, China) / E.

Soldatova, Z. Sun, S. Maier V. Drebot B. Gao // Environmental geochemistry and health. – 2018. – Vol. 40. – № 5. – P. 2223–2242.

184. Sohoulande Djebou, D. C. Bridging drought and climate aridity / D. C. Sohoulande Djebou // Journal of Arid Environments. – 2017. –Vol. 144, September. – P. 17-–180. – DOI: 10.1016/j.jaridenv.2017.05.002.

185. Stafford, J. M. Dietary toxicity of soluble and insoluble molybdenum to northern bobwhite quail (*Colinus virginianus*) / J.M. Stafford, C.E. Lambert, J.A. Zyskowski [et al.] // Ecotoxicology. — 2016. — Vol. 25. — No 2. — P. 291–301. — DOI 10.1007/s10646-015-1587-5.

186. Stavi, I. Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures / I. Stavi, N. Thevs, S. Priori // Frontiers in Environmental Science. – 2021. – Vol. 9. – DOI: 10.3389/fenvs.2021.712831.

187. Svoboda, M. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. / M. Svoboda, B.A. Fuchs. – Geneva: World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016. – 60 p.

188. Svoboda, M. The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States / M. Svoboda, B.A. Fuchs, C. Poulsen, J.R. Nothwehr // Journal of Hydrology. – 2015, July. –Vol. 526 – P. 274–286. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.01.006.

189. Trevan, J. W. The error of determination of toxicity / J. W. Trevan // Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences. – 1927. – Vol. 101. – P. 483–514. – DOI:10.1098/RSPB.1927.0030.

190. Ullah, S. Spatiotemporal changes in global aridity in terms of multiple aridity indices: An assessment based on the CRU data / S. Ullah, Q. You, D.A. Sachindra, M. Nowosad, W. Ullah, A. S. Bhatti, Z. Jin a, A. Ali //Atmospheric Research. – 2022, 15 April. – Vol. 268. –. 105998. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105998.

191. Wang, H Study on the propagation probability characteristics and prediction model of meteorological drought to hydrological drought in basin based on copula function / H. Wang, Y. Zhu, T. Qin? X. Zhang // Frontiers in Earth Science. – 2022. –Vol.10. – DOI: 10.3389/feart.2022.961871.

192. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2022.

193. UNESCO WWAP (World Water Assessment Programme). Partnerships and cooperation for water. The United Nations World Water Development Report 2023 [electronic resource]. – Available at: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655.

194. Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery / H. Xu //International journal of remote sensing. – 2006. – T. 27. – No. 14. – C. 3025–3033.

195. Zaki, A. Impact of nitrate intake in drinking water on the thyroid gland activity in male rat / A. Zaki 1, A. Ait Chaoui, A. Talibi, A. F. Derouiche, T. Aboussaouira, K. Zarrouck, A. Chait, T. Himmi // Toxicol Lett. – 2004. – Vol. 147. – No. 1. – P. 27–33. – DOI:10.1016/j.toxlet.2003.10.010.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Концентрации обнаруженных в подземных водах загрязнителей по среднему значению и 95 процентилю (мг/дм^3)

Показатель		Отчетные годы СГМ					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
		Нижневолжский бассейн III порядка					
Хлороформ	М±σ	0,177± 0,191	0,129± 0,008	0,136± 0,009	0,161± 0,190	0,170± 0,110	0,070± 0,002
	95%	0,481	0,132	0,140	0,320	0,220	0,070
Железо	М±σ	0,62± 0,76	0,45± 0,58	0,27± 0,42	0,36± 0,67	0,47± 0,36	0,22± 0,08
	95%	1,31	0,99	0,51	0,92	0,70	0,24
Нитраты	М±σ	6,45± 6,76	8,15± 7,80	7,87± 8,47	11,29± 9,14	9,61± 5,15	5,43± 4,89
	95%	12,10	12,36	10,27	14,93	13,98	6,81
Нитриты	М±σ	0,019± 0,013	0,015± 0,011	0,020± 0,001	0,030± 0,020	0,036± 0,010	0,020± 0,010
	95%	0,041	0,030	0,020	0,050	0,040	0,024
Марганец	М±σ	0,014± 0,012	0,016± 0,002	0,007± 0,010	0,014± 0,008	0,013± 0,003	0,012± 0,009
	95%	0,04	0,02	0,010	0,061	0,020	0,013
Натрий	М±σ	67,76± 16,39	99,34± 13,71	126,68± 49,25	146,11± 36,02	130,12± 29,71	92,20± 76,95
	95%	84,96	121,16	167,87	160,27	138,75	107,02
Кальций	М±σ	77,31± 30,31	90,16± 29,51	71,78± 35,21	118,08± 27,31	90,18± 37,16	106,17± 84,63
	95%	125,53	137,12	80,90	135,45	105,67	129,24
Магний	М±σ	40,98± 26,65	22,05± 6,49	39,19± 12,01	78,02± 18,81	34,52± 12,11	24,08± 8,01
	95%	83,38	32,38	42,39	83,09	37,39	26,28
Фтор	М±σ	0,28± 0,08	0,21± 0,06	0,52± 0,22	0,63± 0,18	0,61± 0,14	0,21± 0,18
	95%	0,38	0,27	0,58	0,71	0,65	0,26
Нефтепродукты	М±σ	0,041± 0,013	0,018± 0,011	0,005± 0,002	0,031± 0,011	0,010± 0,005	0,004± 0,001
	95%	0,053	0,021	0,007	0,050	0,010	0,005
Сульфаты	М±σ	522,34± 173,13	414,75± 191,46	481,70± 167,14	1073,71± 108,42	416,61± 201,79	308,96± 71,42
	95%	637,13	719,37	556,52	1139,85	543,01	328,05
Хлориды	М±σ	272,55± 275,22	229,11± 66,99	165,27± 77,01	492,01± 196,75	287,17± 78,02	176,84± 56,73
	95%	388,69	265,59	186,72	574,04	336,92	199,90

Продолжение приложения А

Показатель		**Северо-Прикаспийский бассейн III порядка**					
Хлороформ	M±σ	0,211± 0,140	0,092± 0,019	0,112± 0,002	0,261± 0,201	0,190± 0,091	0,068± 0,001
	95%	0,351	0,110	0,120	0,340	0,220	0,070
Железо	M±σ	0,61± 0,59	0,65± 0,99	0,48± 1,10	0,62± 1,11	0,49± 0,40	0,36± 0,18
	95%	0,98	2,23	0,90	1,03	0,74	0,41
Нитраты	M±σ	6,07± 4,01	4,56± 3,96	6,58± 8,16	12,79± 7,88	7,98± 5,88	2,90± 2,09
	95%	12,45	10,86	8,90	15,12	11,1	3,49
Нитриты	M±σ	0,022± 0,018	0,016± 0,005	0,019± 0,002	0,041± 0,010	0,080± 0,007	0,046± 0,020
	95%	0,040	0,026	0,021	0,051	0,080	0,050
Марганец	M±σ	0,004± 0,003	0,089± 0,091	0,011± 0,009	0,082± 0,006	0,068± 0,002	0,005± 0,002
	95%	0,005	0,230	0,012	0,090	0,070	0,010
Натрий	M±σ	72,12± 21,80	103,25± 14,85	153,75± 13,67	151,11± 48,01	151,76± 41,05	102,12± 71,87
	95%	81,28	126,89	165,18	171,63	177,18	122,54
Кальций	M±σ	97,50± 72,03	109,07± 53,49	87,20± 43,01	114,91± 31,90	115,09± 58,55	101,03± 65,64
	95%	140,5	194,19	99,54	133,59	151,11	119,07
Магний	M±σ	34,98± 14,79	25,41± 8,25	32,60± 43,11	75,08± 24,31	52,82± 21,12	44,34± 16,92
	95%	58,51	38,54	35,08	91,44	65,34	48,11
Фтор	M±σ	0,20± 0,03	0,18± 0,04	0,54± 0,06	0,68± 0,15	0,63± 0,16	0,30± 0,19
	95%	0,24	0,22	0,56	0,78	0,68	0,35
Нефтепродукты	M±σ	0,024± 0,011	0,026± 0,014	0,005± 0,002	0,020± 0,010	0,005± 0,001	0,006± 0,001
	95%	0,041	0,032	0,008	0,040	0,010	0,007
Сульфаты	M±σ	919,15± 123,68	309,16± 141,70	372,18± 233,87	995,11± 258,82	419,05± 161,97	156,61± 102,12
	95%	1034,20	534,45	467,92	1077,01	487,18	199,74
Хлориды	M±σ	252,49± 48,27	185,58± 47,54	199,14± 86,56	432,91± 106,57	294,64± 56,82	114,76± 43,18
	95%	192,56	250,65	223,19	476,38	317,43	130,00
Показатель		**Рын-Песковский бассейн III порядка**					
Хлороформ	M±σ	0,271± 0,089	0,194± 0,057	0,112± 0,009	0,270± 0,172	0,201± 0,092	0,064± 0,018
	95%	0,330	0,230	0,120	0,380	0,200	0,080
Железо	M±σ	0,41± 0,76	0,38± 0,27	0,22± 0,18	0,50± 0,48	0,37± 0,40	0,20± 0,09
	95%	0,89	0,55	0,33	0,80	0,62	0,26
Нитраты	M±σ	18,48± 4,59	10,01± 4,28	8,02± 3,10	21,01± 3,69	11,11± 4,87	6,93± 3,54
	95%	21,40	12,73	9,99	23,54	14,15	9,18
Нитриты	M±σ	0,021± 0,018	0,042± 0,014	0,022± 0,009	0,037± 0,021	0,111± 0,003	0,018± 0,005

Окончание приложения А

	95%	0,030	0,050	0,031	0,050	0,110	0,020
Марганец	M±σ	0,030± 0,020	0,021± 0,010	0,015± 0,007	0,102± 0,012	0,027± 0,009	0,011± 0,006
	95%	0,040	0,030	0,020	0,110	0,030	0,010
Натрий	M±σ	189,44± 37,362	127,04± 31,88	143,62± 22,77	189,54± 37,99	139,19± 50,91	121,73± 19,56
	95%	212,95	147,30	158,09	213,68	171,54	134,16
Кальций	M±σ	127,42± 19,99	121,54± 33,89	111,75± 27,72	142,05± 27,77	154,41± 29,09	102,85± 31,01
	95%	140,13	143,07	129,36	159,69	172,89	122,56
Магний	M±σ	82,16± 19,22	44,05± 29,19	41,63± 22,89	88,14± 12,99	48,92± 32,42	38,28± 11,02
	95%	94,07	62,60	56,17	96,93	69,52	45,28
Фтор	M±σ	0,19± 0,10	0,31± 0,11	0,22± 0,03	0,54± 0,19	0,49± 0,19	0,17± 0,02
	95%	0,25	0,38	0,24	0,66	0,61	0,18
Нефтепродукты	M±σ	0,002± 0,001	0,002± 0,001	0,003± 0,001	0,005± 0,001	0,002± 0,001	0,001± 0,001
	95%	0,002	0,002	0,004	0,006	0,002	0,001
Сульфаты	M±σ	480,88± 84,29	401,73± 101,64	323,82± 128,42	819,27± 158,82	388,05± 111,64	186,94± 78,54
	95%	495,25	466,31	405,41	920,18	448,53	236,84
Хлориды	M±σ	388,12± 99,81	350,53± 41,01	173,32± 59,32	339,86± 92,19	318,09± 39,93	102,83± 52,55
	95%	450,90	376,59	211,01	398,38	343,41	136,22

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Концентрации загрязнителей по среднему значению и 95 процентилю (распределение по административным районам Заволжья (мг/дм^3)

Показатель		Отчетные годы СГМ					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
		Быковский район					
Хлороформ	M±σ	0,211± 0,045	0,181± 0,028	0,123± 0,002	0,111± 0,020	0,075± 0,010	0,065± 0,009
	95%	0,234	0,196	0,124	0,122	0,081	0,067
Железо	M±σ	0,46± 0,23	0,71± 0,49	0,63± 0,79	0,62± 0,78	0,99± 0,68	0,70± 0,69
	95%	0,78	0,98	1,07	0,85	1,18	0,89
Нитраты	M±σ	12,76± 2,79	4,56± 3,97	6,57± 8,15	6,57± 6,94	7,75± 9,66	6,81± 7,93
	95%	13,82	6,81	11,17	9,45	10,48	9,05
Нитриты	M±σ	0,031± 0,020	0,073± 0,020	0,070± 0,031	0,180± 0,090	0,051± 0,011	0,011± 0,005
	95%	0,041	0,082	0,095	0,212	0,062	0,015
Марганец	M±σ	0,200± 0,091	0,089± 0,011	0,017± 0,005	0,043± 0,052	0,027± 0,013	0,013± 0,015
	95%	0,242	0,096	0,022	0,061	0,033	0,017
Натрий	M±σ	88,25± 15,11	99,33± 14,58	154,25± 12,22	136,76± 27,43	145,38± 33,48	160,64± 46,71
	95%	94,18	107,58	159,80	151,53	158,17	173,01
Кальций	M±σ	94,02± 23,78	88,86± 53,49	87,50± 43,64	87,50± 43,33	93,54± 23,42	131,83± 80,53
	95%	103,35	125,92	111,33	103,64	101,23	153,63
Магний	M±σ	32,18± 26,04	23,19± 8,25	48,66± 13,96	33,03± 19,86	27,18± 10,10	43,21± 20,61
	95%	46,71	27,87	51,84	38,63	29,03	48,41
Нефтепродукты	M±σ	0,051± 0,010	0,030± 0,012	0,020± 0,005	0,005± 0,001	0,021± 0,012	0,003± 0,001
	95%	0,060	0,043	0,024	0,006	0,032	0,004
Сульфаты	M±σ	486,21± 234,18	330,70± 141,64	403,50± 220,75	805,25± 216,66	359,75± 182,91	321,25± 154,84
	95%	861,02	388,81	465,52	983,73	411,77	364,56
Хлориды	M±σ	364,42± 312,27	170,93± 58,34	200,01± 85,76	200,43± 86,66	201,64± 83,61	187,50± 56,74
	95%	491,52	193,60	233,71	231,13	224,48	202,84
Жесткость	M	8,16	6,40	7,75	6,52	8,10	8,32
Показатель		**Николаевский район**					
Хлороформ	M±σ	0,140± 0,038	0,152± 0,022	0,141± 0,011	0,100± 0,010	0,067± 0,005	0,070± 0,010
	95%	0,172	0,160	0,152	0,104	0,071	0,073
Железо	M±σ	0,39± 0,17	0,65± 0,29	0,82± 1,22	0,81± 1,31	0,55± 0,85	0,27± 0,79
	95%	0,49	0,76	1,15	1,18	0,89	0,49

Продолжение приложения Б

Нитраты	M±σ	2,62± 1,09	4,84± 4,39	7,96± 8,54	6,29± 7,48	7,50± 8,96	6,96± 9,06
	95%	3,23	6,60	10,38	8,88	10,03	9,51
Нитриты	M±σ	0,150± 0,050	0,091± 0,030	0,021± 0,005	0,070± 0,030	0,010± 0,001	0,010± 0,001
	95%	0,188	0,111	0,024	0,080	0,011	0,011
Марганец	M±σ	0,163± 0,031	0,028± 0,010	0,026± 0,030	0,018± 0,020	0,022± 0,020	0,020± 0,020
	95%	0,179	0,027	0,046	0,024	0,030	0,027
Натрий	M±σ	81,43± 41,94	99,35± 13,71	126,50± 48,78	133,75± 57,89	152,75± 70,35	115,25± 53,65
	95%	104,20	107,12	140,69	157,20	181,00	129,99
Кальций	M±σ	68,34± 21,01	90,50± 29,83	71,25± 35,40	79,03± 34,72	101,50± 89,70	97,62± 44,96
	95%	79,88	107,97	81,02	96,60	137,00	109,73
Магний	M±σ	24,18± 7,17	22,10± 6,42	49,45± 14,77	20,01± 6,97	45,26± 8,64	14,91± 5,75
	95%	27,96	29,73	52,12	22,26	48,07	16,32
Нефтепродукты	M±σ	0,041± 0,011	0,041± 0,011	0,007± 0,002	0,009± 0,002	0,005± 0,001	0,004± 0,001
	95%	0,051	0,051	0,008	0,010	0,006	0,005
Сульфаты	M±σ	119,54± 30,61	160,25± 67,32	483,03± 266,67	789,75± 256,66	356,25± 107,65	335,25± 82,71
	95%	141,06	198,47	559,37	644,40	386,55	358,19
Хлориды	M±σ	52,49± 38,23	415,50± 376,05	166,50± 78,56	146,50± 61,12	145,25± 76,94	137,01± 60,62
	95%	74,50	566,43	188,18	167,48	166,78	153,94
Жесткость	M	8,95	7,27	6,85	8,01	7,54	6,33
Показатель		**Старополтавский район**					
Хлороформ	M±σ	0,211± 0,140	0,092± 0,019	0,112± 0,002	0,261± 0,201	0,190± 0,091	0,068± 0,001
	95%	0,351	0,011	0,120	0,340	0,220	0,070
Железо	M±σ	0,61± 0,59	0,65± 0,99	0,48± 1,10	0,62± 1,11	0,49± 0,40	0,36± 0,18
	95%	0,98	2,23	0,90	1,03	0,74	0,41
Нитраты	M±σ	6,07± 4,01	4,56± 3,96	6,58± 8,16	12,79± 7,88	7,98± 5,88	2,90± 2,09
	95%	12,45	10,86	8,90	15,12	11,1	3,49
Нитриты	M±σ	0,022± 0,018	0,016± 0,005	0,019± 0,002	0,041± 0,010	0,080± 0,007	0,046± 0,020
	95%	0,040	0,026	0,021	0,051	0,080	0,050
Марганец	M±σ	0,004± 0,003	0,089± 0,091	0,011± 0,009	0,082± 0,006	0,068± 0,0012	0,005± 0,002
	95%	0,005	0,230	0,012	0,090	0,070	0,010
Натрий	M±σ	72,12± 21,80	103,25± 14,85	153,75± 13,67	151,11± 48,01	151,76± 41,05	102,12± 71,87
	95%	81,28	126,89	165,18	171,63	177,18	122,54
Кальций	M±σ	97,50± 72,03	109,07± 53,49	87,20± 43,01	114,91± 31,90	115,09± 58,55	101,03± 65,64

Окончание приложения Б

	95%	140,5	194,19	99,54	133,59	151,11	119,07
Магний	M±σ	34,98± 14,79	25,41± 8,25	32,60± 43,11	75,08± 24,31	52,82± 21,12	44,34± 16,92
	95%	58,51	38,54	35,08	91,44	65,34	48,11
Нефтепродукты	M±σ	0,024± 0,011	0,026± 0,014	0,005± 0,002	0,020± 0,010	0,005± 0,001	0,006± 0,001
	95%	0,041	0,032	0,008	0,040	0,010	0,007
Сульфаты	M±σ	119,15± 23,68	309,16± 141,70	372,18± 233,87	995,11± 258,82	419,05± 161,97	156,61± 102,12
	95%	134,20	534,45	467,92	1077,01	487,18	199,74
Хлориды	M±σ	252,49± 48,27	185,58± 47,54	199,14± 86,56	432,91± 106,57	294,64± 56,82	114,76± 43,18
	95%	192,56	250,65	223,19	476,38	317,43	130,00
Жесткость	M	8,40	7,89	6,68	8,39	6,28	5,62
Показатель		**Палласовский район**					
Хлороформ	M±σ	0,120± 0,024	0,130± 0,010	0,120± 0,010	0,110± 0,030	0,076± 0,006	0,061± 0,011
	95%	0,131	0,136	0,130	0,121	0,077	0,062
Железо	M±σ	0,32± 0,15	0,44± 0,28	0,17± 0,15	0,27± 0,08	0,27± 0,21	0,17± 0,10
	95%	0,41	0,60	0,25	0,30	0,35	0,20
Нитраты	M±σ	1,89± 0,58	2,82± 1,34	2,17± 2,05	10,93± 5,66	0,26± 0,15	0,291± 0,233
	95%	2,22	3,58	3,33	12,53	0,32	0,360
Нитриты	M±σ	0,090± 0,030	0,014± 0,005	0,010± 0,005	0,130± 0,310	0,050± 0,040	0,007± 0,001
	95%	0,101	0,017	0,011	0,241	0,065	0,008
Марганец	M±σ	0,111± 0,050	0,010± 0,013	0,005± 0,002	0,019± 0,020	0,005± 0,004	0,010± 0,001
	95%	0,140	0,015	0,006	0,027	0,006	0,011
Натрий	M±σ	111,74± 36,07	134,85± 41,26	67,42± 65,10	238,54± 120,86	80,85± 81,10	28,08± 6,54
	95%	131,37	157,20	90,26	286,41	102,91	30,34
Кальций	M±σ	86,45± 34,41	112,18± 32,62	61,07± 27,25	186,23± 68,96	67,42± 42,03	57,10± 12,29
	95%	99,60	130,15	70,66	213,60	78,88	61,40
Магний	M±σ	28,04± 7,24	42,51± 11,93	35,55± 15,45	23,79± 12,97	20,76± 9,43	29,54± 6,21
	95%	32,24	48,72	39,81	27,61	23,48	31,24
Нефтепродукты	M±σ	0,030± 0,010	0,030 0,012	0,008± 0,002	0,007± 0,003	0,010± 0,001	0,005± 0,001
	95%	0,035	0,040	0,010	0,008	0,011	0,006
Сульфаты	M±σ	472,75± 136,53	388,87± 112,01	360,54± 69,34	273,54± 168,43	321,22± 107,81	312,60± 68,38
	95%	526,92	451,37	399,04	320,53	359,65	331,23
Хлориды	M±σ	282,02± 112,51	180,29± 54,17	450,01± 115,52	774,09± 212,71	417,33± 34,03	376,23± 42,07
	95%	326,01	210,55	515,06	895,68	432,39	384,88
Жесткость	M	8,03	8,21	6,77	7,69	7,99	6,28

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Значения неканцерогенного риска здоровью, рассчитанные по верхней границе 95% доверительного интервала (распределение по административным районам Заволжья)

Показатель	Неканцерогенный риск (HQ)											
	2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет	Взр	Дет
	Быковский район											
Хлороформ	0,67	1,56	0,56	1,31	0,35	0,82	0,34	0,80	0,23	0,53	0,19	0,44
Железо	0,07	0,17	0,10	0,22	0,11	0,24	0,08	0,19	0,11	0,26	0,08	0,20
Нитраты	0,24	0,57	0,12	0,28	0,22	0,46	0,18	0,40	0,19	044	0,16	0,37
Нитриты	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	0,04	0,06	0,14	0,01	0,03	3e-3	6e-3
Марганец	0,05	0,11	0,02	0,05	4e-3	0,01	0,01	0,03	5e-3	0,01	4e-3	8e-3
Натрий	0,08	0,18	0,10	0,21	0,13	0,31	0,13	0,30	0,13	0,31	0,14	0,34
Кальций	0,07	0,17	0,10	0,20	0,08	0,18	0,10	0,17	0,07	0,16	0,10	0,25
Нефтепрод.	0,05	0,12	0,04	0,08	0,02	0,04	6e-3	0,01	0,03	0,05	4e-3	8e-3
	Николаевский район											
Хлороформ	0,49	1,14	0,46	1,06	0,43	1,00	0,30	0,70	0,20	0,46	0,21	0,48
Железо	0,05	0,11	0,07	0,17	0,15	0,25	0,11	0,26	0,08	0,20	0,05	0,11
Нитраты	0,06	0,13	0,12	0,26	0,18	0,43	0,16	0,37	0,18	0,41	0,17	0,40
Нитриты	0,05	0,12	7e-3	0,03	5e-3	0,01	0,03	0,06	3e-3	6e-3	3e-3	6e-3
Марганец	0,03	0,08	5e-3	0,01	0,01	0,02	5e-3	0,01	5e-3	0,01	4e-3	0,01
Натрий	0,09	0,20	0,10	0,21	0,12	0,28	0,15	0,31	0,15	0,35	0,11	0,25
Кальций	0,06	0,13	0,07	0,17	0,13	0,13	0,07	0,16	0,10	0,22	0,08	0,18
Нефтепрод.	0,05	0,11	0,05	0,11	0,01	0,02	0,01	0,02	6e-3	0,01	5e-3	0,01
	Старополтавский район											
Хлороформ	0,93	2,10	0,31	0,73	0,34	0,80	0,97	2,26	0,63	1,46	0,20	0,46
Железо	0,09	0,22	0,21	0,50	0,08	0,20	0,10	0,23	0,07	0,16	0,04	0,09
Нитраты	0,22	0,52	0,20	0,45	0,16	0,37	0,27	0,63	0,20	0,46	0,06	0,14
Нитриты	0,01	0,03	1e-3	0,01	1e-3	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,03
Марганец	0,01	0,03	0,05	0,11	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	2e-3	4e-3
Натрий	0,07	0,16	0,10	0,25	0,14	0,32	0,14	0,33	0,15	0,34	0,11	0,24
Кальций	0,01	0,23	0,14	0,31	0,07	0,16	0,09	0,21	0,13	0,24	0,08	0,19
Нефтепрод.	0,04	0,10	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04	0,09	9e-3	0,02	6e-3	0,01
	Палласовский район											
Хлороформ	0,37	0,87	0,40	0,90	0,37	0,86	0,34	0,80	0,22	0,51	0,17	0,40
Железо	0,04	0,09	0,06	0,13	0,02	0,06	0,03	0,06	0,04	0,08	0,02	0,04
Нитраты	0,04	0,09	0,07	0,15	0,12	0,14	0,22	0,52	5e-3	0,01	5e-3	0,01
Нитриты	0,03	0,06	5e-3	0,01	3e-3	6e-3	0,07	0,16	0,02	0,04	2e-3	5e-3
Марганец	0,03	0,06	3e-3	7e-3	2e-3	4e-3	5e-3	0,01	1e-3	3e-3	2e-3	5e-3
Натрий	0,11	0,25	0,15	0,31	0,08	0,18	0,24	0,56	0,09	0,20	0,03	0,06
Кальций	0,07	0,16	0,11	0,21	0,05	0,11	0,15	0,35	0,05	0,13	0,05	0,10
Нефтепрод.	0,03	0,07	0,04	0,08	2e-3	3e-3	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05	0,01

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024615590

Нейронная сеть прогнозирования риска здоровью при пероральном поступлении токсикантов с водой в засушливых зонах юга России (HealthRisk AI v 1.0)

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (RU)***

Автор(ы): ***Новиков Денис Сергеевич (RU)***

Заявка № **2024614491**
Дата поступления **04 марта 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***11 марта 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164baf96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024623301

Качество подземных вод волгоградского Заволжья

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации (RU)***

Автор(ы): ***Новиков Денис Сергеевич (RU)***

Заявка № **2024622895**

Дата поступления **05 июля 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных ***25 июля 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы

по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 429b6a0fe3853164ba196183b73b4aa7

Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**

Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Федеральная служба в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения

«Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области»

Предложения о внедрении

результатов научного исследования Новикова Дениса Сергеевича по кандидатской диссертации на тему ««Эколого-гигиеническая оценка риска здоровью, связанного с потреблением подземных вод аридных зон Заволжья» в деятельность ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области»

Результаты исследования Новикова Д.С. , представленные в его диссертационной работе представляют научный и практический интерес в деятельности ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской область». Полученные данные могут быть рекомендованы для обучения лиц, подлежащих гигиеническому обучению и аттестации, а также при планировании противоэпидемических мероприятий по улучшению ситуации со снабжением населения чистой питьевой водой районов Заволжья Волгоградской области.

Главный врач ФБУЗ

«Центр гигиены и эпидемиологии

в Волгоградской области» _____ М.Н.Скаковский

3 июня 2024 г.