

На правах рукописи

НОВИКОВ ДЕНИС СЕРГЕЕВИЧ

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

1.5.15. Экология

АВТОРЕФРЕАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель

Латышевская Наталья Ивановна,

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Официальные оппоненты

Елисеев Юрий Юрьевич,

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Масленников Александр Александрович,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологической токсикологии Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации.

Ведущая организация

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет» (ФГАОУ ВО ВолГУ).

Защита диссертации состоится «17» июня 2025 г. в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета ПДС 0800.002 при Российской университете дружбы народов им. Патриса Лумумбы по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе д.8/5, ком.1096.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet> и в Учебно-научном информационном библиографическом центре Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы по адресу: 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета ПДС 0800.002

Е. В. Аникина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Обеспечение населения страны качественной питьевой водой является сегодня одной из ключевых задач, стоящих перед Россией (Онищенко, 2013). Необходимость ее решения обусловливается тем, что доступность качественной воды является важным фактором обеспечения здоровья человека, одним из основных его прав, средством, позволяющим на должном уровне поддерживать общественное здоровье. Именно потому Правительство Российской Федерации приняло ряд стратегических документов, нацеленных на реализацию права человека на чистую питьевую воду, сохранение и укрепление здоровья россиян. 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., Спирина 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.

Задачи исследования:

1. Проанализировать факторы, влияющие на качество подземных вод аридных зон Заволжья.
2. Произвести оценку риска здоровью, ассоцииированного 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 состава 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, обусловлен 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 из 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. Руру – 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В подглаве 1.1 рассмотрены литературные источники, посвященные основным факторам, влияющим на качество и прогнозные запасы подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. В подглаве 1.2 обоснована значимость применения риск-ориентированного подхода к оценке степени влияния качественного состава подземных вод. Подглава 1.3 посвящена анализу типологии различных показателей аридности и потенциалу их применения в системе социально-гигиенического мониторинга качества среды обитания человека.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – подземные воды Северо-Каспийской подпровинции, залегающей в зоне аридного Заволжья (в административных

границах Волгоградской области). Изучаемая территория рассматривается в контексте трех гидрогеологических бассейнов III порядка: Нижневолжского, Северо-Прикаспийского и Рын-Песковского (рис. 1).



Рисунок 1 – Карта гидрогеологического зонирования волгоградского Заволжья

Методы оценки риска. Качество воды подземных источников централизованного водоснабжения анализировалось по показателям, включенным в стандартизованную процедуру мониторинга: жесткость общая, железо общее, марганец, кальций, натрий, нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты, фториды, хлороформ, нефтепродукты. Оценка рисков здоровью, связанная с поступлением данных токсикантов производилась в соответствии с методологией «Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Расчет среднесуточных доз поступления веществ с питьевой водой производился в соответствии с формулой:

$$ADD = \frac{C_w \times V \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}, \text{ где} \quad (1)$$

ADD – доза поступления, C_w – концентрация вещества, V – объем водопотребления, EF – частота воздействия, ED – продолжительность воздействия, BW – масса тела, AT – период осреднения экспозиции.

Неканцерогенный риск оценивался на основе расчета коэффициента опасности:

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

HQ – коэффициент опасности, RfD – референтная (безопасная) доза.

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

$$CI = LADD \times SF, \text{ где} \quad (3)$$

LADD – средняя суточная доза в течение жизни, SF – фактор канцерогенного потенциала.

Оценка риска возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов основывалась на расчете пробит-регрессии и итоговом определении вероятностей появления воздействий с помощью таблиц нормального распределения Гаусса (МР 2.1.4.0032-11: «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности»):

$$Prob = -2 + 3,32 \times \lg\left(\frac{\text{концентрация}}{\text{норматив}}\right). \quad (4)$$

Спутниковые и метеорологические методы оценки аридности. СATELLITНЫЙ индекс NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) рассчитывался по данным снимков из инфракрасного (NIR) и коротковолнового инфракрасного (SWIR) диапазонов камеры спутника *Landsat-8* (база данных геопортала *EarthExplorer*) в программном пакете QGIS v3.24 по следующей формуле (H. Xu, 2006; Roy et al., 2014):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}. \quad (5)$$

Температура земной поверхности были проанализирована с помощью спутникового показателя LST (*Land Surface Temperature*). Значения метеорологического индекса аридности де Мартонна (DMI) были определены по формуле:

$$DMI = \frac{P}{T+10}, \text{ где} \quad (6)$$

P – годовая сумма выпавших осадков, T – среднегодовая температура воздуха (Martonne, 1926).

Источник данных об осадках и температуре – модели ERA5 – атмосферный реанализ глобального климата пятого поколения ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды ECMWF *Reanalysis v5*).

Методы статистического анализа данных. Влияние спутникового (NDMI) и метеорологического (DMI) индексов засушливости на динамику риска здоровью оценивалось путем расчета уравнения множественной регрессии. Построение временного тренда значений переменных-предикторов (DMI, NDMI) для прогнозирования значений риска выполнялось с помощью модели ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Все результаты статистической обработки, выполненной в пакете прикладных программ

Matlab+Femlab v9.13.0, принимались как значимые при величине критерия $p < 0,05$. Оценка достоверности производилась с помощью t-критерия Стьюдента и Н-критерия Крускала-Уоллиса. Для анализа заболеваемости, потенциально ассоциированной с водным фактором, была построена логит-модель. Ранжирование территорий по показателю динамики инфекционной и неинфекционной заболеваемости выполнялось при помощи метода k-средних.

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

Геоморфологические и литологические особенности региона оказывают влияние на химическую природу подземных вод Заволжья Волгоградской области. Минеральный состав вод Северо-Каспийской провинции носит постоянный гидрокарбонатный кальциево-магниевый или натриево-кальциевый характер, что связано с повсеместно распространенными на территории бассейна плиоценовыми аллювиальными песчано-глинистыми отложениями, представленными песками, супесями и суглинками. 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) (Болгов, Демин, 2018; Анисимов, Солодкова, 2013).

Подземные воды питаются главным образом за счет атмосферных осадков, просачивающихся из засоленных почв, занимающих более 75% почвенного профиля Заволжья. Основными четвертичными водоносными горизонтами бассейна являются безнапорные эолово-делювиальные, аллювиальные, аллювиально-морские и морские терригенные отложения. 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 (Лемешкин и др., 2023; Петров и др., 2022).

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; Залибеков и др., 2019).

Тенденция к нарастанию аридности типична для всей территории Волгоградской области. Результаты выполненного нами моделирования по данным базы 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 воздуха возросла с 7,4 до 9,7°C (+38,08%). В отношении аридного Заволжья (в административных границах Волгоградской области) нами было установлено, что усредненная в ретроспективе 2017 – 2022 гг. сумма осадков в этой геоэкологической зоне составила $381,5 \pm 26,4$ мм при среднегодовой температуре воздуха, равной $9,1 \pm 0,2$ °С, что соответствует умеренно аридной зоне (по классификации Б.В. Виноградова).

В отношении каждого из бассейнов подземных вод III порядка выявлена следующая динамика: В Нижневолжском бассейне рост среднегодовых значений температуры по отношению к 2017 году составил 3,4% (от 8,8 до 9,1°C), 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 в границах Северо-Прикаспийского бассейна возросла на 3,5% (8,5 – 8,8°C), 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°C), при падении суммы осадков на 5,9% (320,8 – 301,3 мм). Однако необходимо отметить, что при выраженным 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. 2).

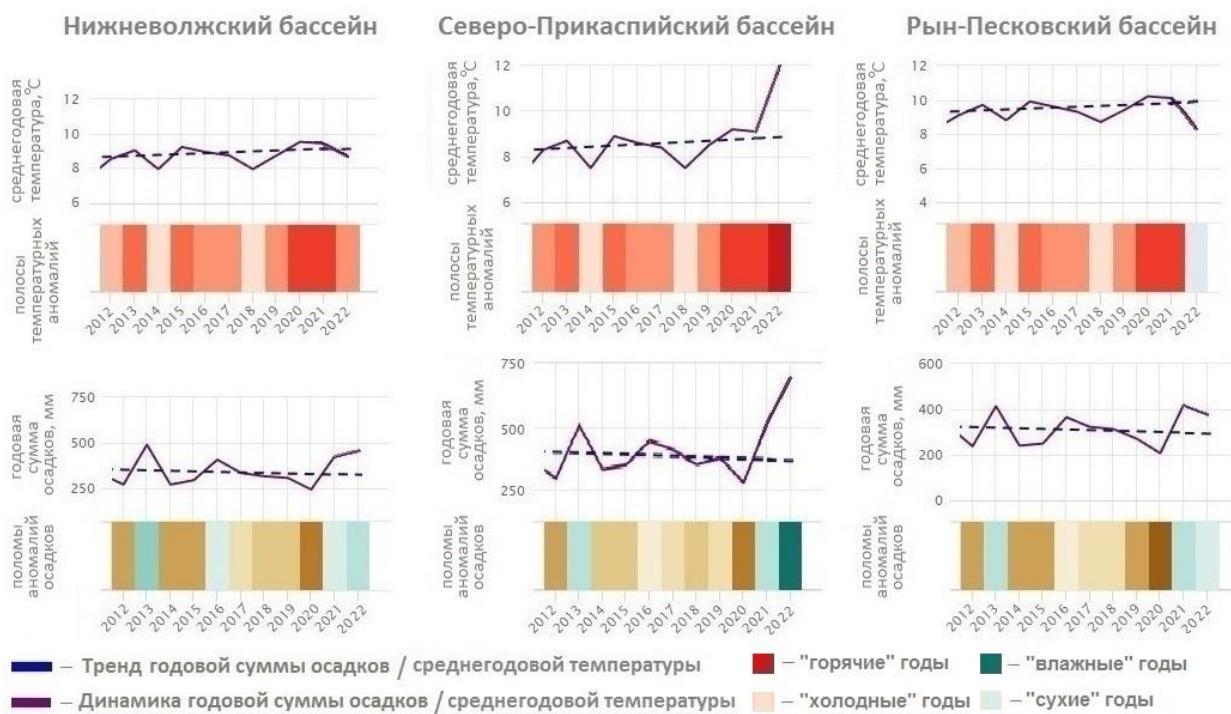


Рисунок 2 – Многолетняя динамика климатических показателей в зоне залегания бассейнов III подземных вод волгоградского Заволжья

Оценка степени выраженности положительных/отрицательных аномалий атмосферных осадков и температуры воздуха в аридном Заволжье показала наличие значимых отличий между отклонениями: положительные аномалии температур достоверно преобладали над отрицательными ($T_{\text{расч.}} =$

$3,00 > T_{\text{крит.}} = 2,18$, при $p < 0,05$), отрицательных аномалий осадков было выявлено достоверно больше, чем положительных ($T_{\text{расч}} = 2,30 > T_{\text{крит}} = 2,18$, при $p < 0,05$) (табл. 1).

Таблица 1
Числовое выражение усредненных за год климатических аномалий в зоне аридного Заволжья

Годы наблюдения	Температурные аномалии, °C		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

Анализ антропогенной нагрузки показал, что доминирующую роль в загрязнении подземных вод играют агрехозяйственные комплексы, предприятия по добыче нефти и газа, участки карьеров добычи различных типов песков и глин, натриевых и магниевых солей, а также бишофита. Основные поллютанты: нитраты, нитриты, кальций, натрий, магний, нефтепродукты. При этом, общая картина антропогенного загрязнения усугубляется регулярными случаями нарушения правил содержания зон санитарной охраны (ЗСО) водоисточников. Нами установлено, что 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%).

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

В главе дана характеристика неканцерогенных и канцерогенных рисков здоровью, а также вероятности возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов, связанных с потреблением подземных вод аридного Заволжья. Данные о расчетных значениях концентраций веществ, вовлеченных в процедуру оценки риска, представлены в Приложении А. Для анализа выбран агравированный сценарий, реализованный в виде расчета доз поступления по верхней границе 95%-го доверительного интервала (ДИ) концентраций, что обусловлено стохастическим характером засухи и пестротой гидрогоеохимической и литологической природы изучаемой территории.

Анализ неканцерогенного риска. Уровни риска рассчитывались для взрослых и детей. Установлено, что хлороформ вносит значительный вклад в картину общей неканцерогенной опасности – доля данного загрязнителя в

суммарном индексе риска при перворальном поступлении находилась в диапазоне 25,00–58,93%. Вклад нитратов, магния и натрия, занимающих вторую, третью и четвертую ранговые позиции в картине риска, составлял 7,61 – 17,07%, 9,70–11,88% и 2,95–14,55% соответственно (табл. 2).

Таблица 2

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
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
Суммарно, НП	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
Суммарно, НП	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
Суммарно, НП	2,07	4,80	1,51	3,46	1,04	2,42	2,45	5,74	1,65	3,78	0,81	1,89

Выявлены основные критические системы, подвергающиеся риску (НІ) развития неканцерогенных эффектов с учетом сонаправленного действия токсикантов: 1) кровь (хлороформ, железо, марганец, нитраты, нитриты); 2) почки (хлороформ, кальций, нефтепродукты); 3) центральная нервная система (хлороформ, марганец); 4) сердечно-сосудистая система (нитраты, натрий); 5) печень (хлороформ) (рис. 3).

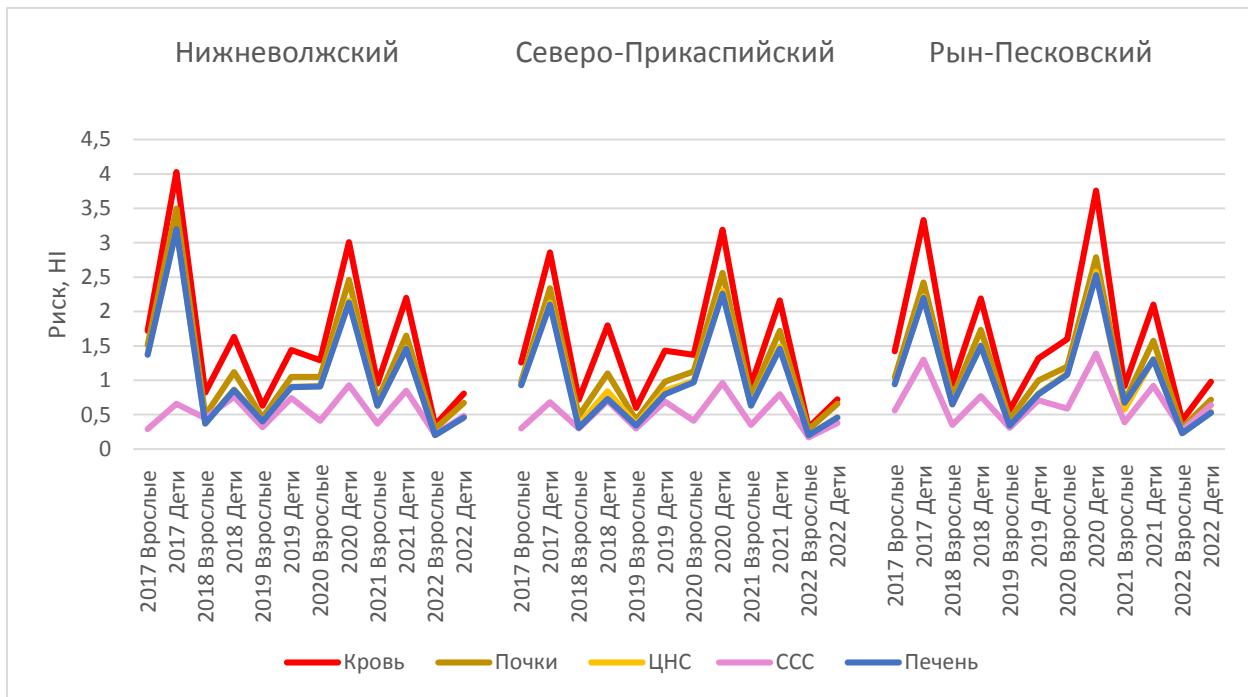


Рисунок 3 – Значения многолетней динамики рисков здоровью по основным критическим системам, подвергающимся опасности развития неканцерогенных эффектов

Картина риска здоровью, представленная в таблице 2 и на рисунке 3, основывается исключительно на пероральном поступлении веществ. Вместе с тем известно, что вносящий наибольший значительный вклад в неканцерогенную опасность хлороформ также обладает значительной ингаляторной экспозицией (Иксанова и др., 2006; Унгуряну, 2011; Турбинский и др., 2015). Учет многосредового поступления поллютанта свидетельствует о том, что общая доля хлороформа в картине неканцерогенного опасности варьирует в диапазоне 64,81–83,28%.

Анализ канцерогенного риска. Хлороформ способен вносить вклад в развитие канцерогенной опасности. В случае анализа исключительно перорального пути поступления данного токсиканта многолетние значения риска для всех анализируемых бассейнов подземных вод относились ко второму диапазону канцерогенной опасности ($1E-6 < CR < 1E-4$), что соответствует предельно допустимому риску в течении всей жизни человека (верхней границе приемлемого риска). При включении в модель 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. 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 $p=0,001$).

Оценка риска возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов. 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 (SO₄²⁻) при которых потребители заметят посторонний запах и привкус в воде (табл. 3). Кумулятивная функция распределения (Φ) соответствовала процентному значению риска (вероятности возникновения ольфакторных эффектов) (Trevan, 1927).

Таблица 3
Результаты расчета органолептических рисков потребления подземных вод
Заволжья Волгоградской области

Бассейны подземных вод III порядка	Годы СГМ	Probe (z)				Риск $\Phi(z)$			
		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

Установлено, что вклад марганца и хлоридов в вероятность возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов является незначимым. 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 социально-гигиенического мониторинга (СГМ) превышали аналогичные показатели, ассоциированные с содержанием сульфатов. Максимальное значение

вероятности обнаружения потребителями постороннего запаха/привкуса в воде (81,33%) отмечалось в 2018 году в зоне Северо-Прикаспийского бассейна при значении показателя общего железа в 7,43 ПДК (по верхней границе 95% ДИ).

Управление риском здоровью. В отечественной науке хлороформ традиционно рассматривается как загрязнитель антропогенного происхождения, ассоциированный с хлорированием воды (Ямилова, Ковальчук, 2021; Егорова и др., 2013). Однако в ряде иностранных публикаций широко представлены данные о природном происхождении данного токсиканта. При этом, авторы отмечают высокий потенциал соленых сред в естественном галогенировании органических веществ с образованием хлороформа (Hunkeler et al., 2012; Breider et al., 2013; Field, 2016; Pend et al., 2020). Это согласуется с экологическими особенностями аридного Заволжья, для которого характерны засоленные грунты (солоди, солонцы и солончаки), формирующие соленые воды и рассолы (Панкова и др., 2019).

Нами проанализирована взаимосвязь между среднемесячными концентрациями хлороформа в системах централизованного водоснабжения и температурой воздуха в диапазоне 2017 – 2022 гг. Прямая корреляционная связь между концентрацией 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. Квадратичная и кубическая регрессии свидетельствовали о наличии предела влияния температуры на содержание хлороформа и лучшее иллюстрировали качество модели: $r=0,66$ ($p=0,016$) и $r=0,77$ ($p=0,004$) соответственно (рис. 4).

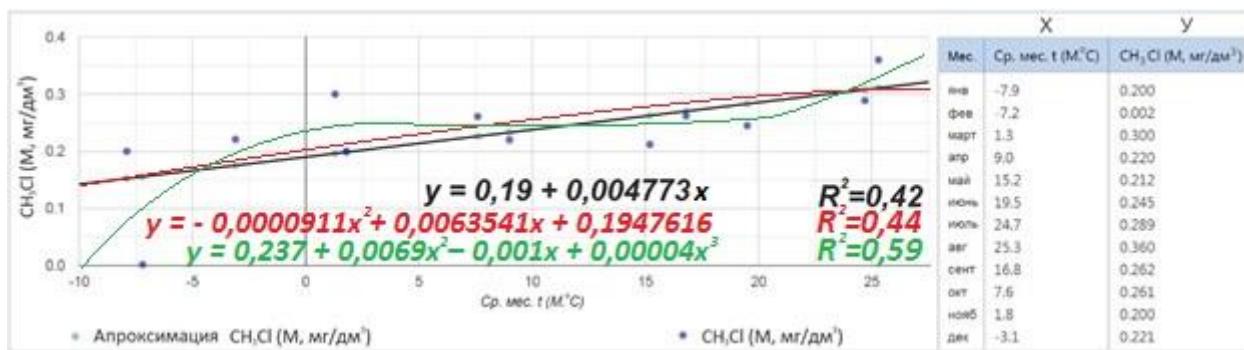


Рисунок 4 – Линейная аппроксимация концентраций хлороформа в зависимости от динамики температуры

В ряде источников утверждается прямое влияние температуры на величину образования хлороганических 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.

На данном этапе нами был выполнен ГИС-анализ засушливости аридных зон Заволжья в административных границах Волгоградской области с помощью индекса NDMI (предиктор x_1). Различия между «влажным» 2019 годом и засушливым 2020 годом оказались достоверными при $p < 0,05$ для связанных выборок ($T_{\text{набл}} = 9,70 > T_{\text{крит}} = 4,30$), динамика NDMI в диапазоне 2020–2022 гг. также продемонстрировала достоверные отличия изучаемого показателя ($T_{\text{набл}} = 21,50 > T_{\text{крит}} = 9,39$, $p < 0,01$) (рис. 5).

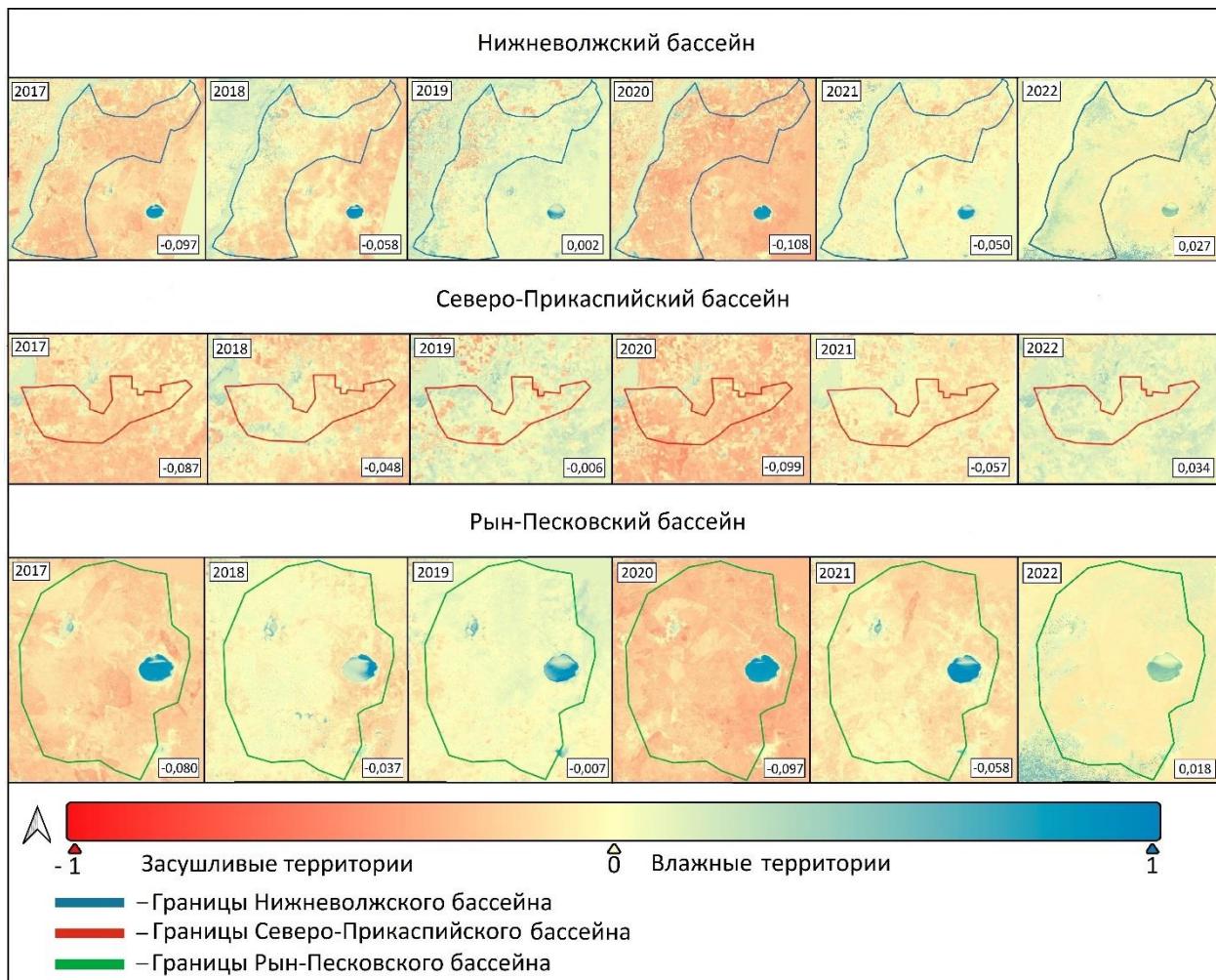


Рисунок 5 – Растворные карты бассейнов подземных вод III порядка с зональной статистикой индекса засушливости NDMI (2017-2022 гг.)

Для определения второго признак-фактора (x_2) нами была 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.

Выявлены высокие корреляционные связи между показателями засушливости и рисками развития неканцерогенных эффектов для трех бассейнов подземных вод. Однако необходимо отметить, что анализ частных коэффициентов регрессии выявил больший вклад предиктора NDMI в

изменение зависимой переменной у ($\sum\text{HI}$), чем индекс де Мартонна. Минимальные значения $r_{y_{x2/x1}}$ 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 $r_{y_{x1/x2}}=-0,823$, $p=0,012$ (Северо-Прикаспийский, взрослые), максимум — $-0,984$, $p=0,002$ (Рын-Песковский, взрослые) (табл. 4).

Таблица 4
Множественные корреляционные связи между исследуемыми показателями и прогностическая сила модели

Бассейны подземных вод III порядка	Год	$\sum\text{HI}$ (у) взр/дет	NDMI (x_1)	DMI (x_2)	Коэффициент множественной корреляции ($r_{y_{x1,x2}}$)	Коэффициент детерминации R^2 взр/дет	Коэффициент Тейла V	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	-				

С помощью прогнозной модели временного ряда ARIMA нами были получены прогнозные значения суммарного неканцерогенного риска для каждого из трех бассейнов подземных вод аридного Заволжья:

1. Нижневолжский бассейн: $\text{HI}_{\text{взрослые}} (3,50-7,69, p=0,005)$, $\text{HI}_{\text{дети}} (7,34-18,91, p=0,009)$;
2. Северо-Прикаспийский бассейн: $\text{HI}_{\text{взрослые}} (2,74-6,83, p=0,012)$, $\text{HI}_{\text{дети}} (7,22-15,62, p=0,006)$;
3. Рын-Песковский бассейн: $\text{HI}_{\text{взрослые}} (5,59-7,75, p <0,001)$, $\text{HI}_{\text{дети}} (12,72-18,40, p <0,001)$.

Полученные 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 здоровью (Приложение Г).

Глава 5. АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ВОДНЫМ ФАКТОРОМ

Неинфекционная заболеваемость. Выбор нозологических классов неинфекционных болезней основывался на выявленных в главе 4 критических системах по Р 2.1.10.1920—04: болезни крови (критическая система: 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). Нами был произведен расчет концентраций токсикантов и связанных с ними неканцерогенных рисков на основе принадлежности мониторинговых точек аридного Заволжья к одному из административных районов: Быковскому, Николаевскому, Старополтавскому и Палласовскому (Приложения Б и В).

В литературе представлены данные о влиянии жесткой водопроводной воды на мочекаменную болезнь (МКБ) (Ковалчук, Маслов, 2021; Тарасов и др., 2015; Мамонова и др., 2024; WHO, 2022). Нами был произведен корреляционный анализ индивидуального вклада ионов магния и кальция, а также комбинаторного показателя общей жесткости в развитие МКБ. 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 ($p=0,083$). С помощью Н-критерия Крускала-Уоллиса была обнаружена значительная разница между выборками изучаемых показателей ($\chi^2(2) = 8$) со средним ранговым баллом 3,5 для Ca, 10,5 для Mg, 5,5 для общей жесткости воды ($p=0,018$).

В отношении основных классов неинфекционных болезней нами было выявлено наличие прямой корреляционной связи между показателями заболеваемости и этиологически связанными с ними уровнями риска по всем критическим системам. Данный феномен валидизирует разработанную нами модель прогнозирования рисков, основанную на спутниковом индексе аридности NDMI в триаде «спутниковый индикатор засушливости – неканцерогенный риск – заболеваемость». Вместе с этим, статистически недостоверными оказались зависимости между риском здоровью и заболеваемость по органам сердечно-сосудистой системы (ССС) (при $p < 0,05$) как для взрослых, так и для детей. 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 ($p=0,098$), что может быть связано с отсутствием вклада хлороформа в формирование риска по ССС.

Сравнение выборок коэффициентов корреляций в Быковском-Николаевском/Старополтавском-Палласовском районах выявило достоверные отличия между рассматриваемыми рядами данных ($T_{\text{расч.}} = 8,80 > T_{\text{крит.}} = 2,88$, при $p < 0,01$). Территория, занимаемая Быковским и Николаевским районами, относится к Приволжской песчаной гряде – уникальному для волгоградского Заволжья геоморфологическому образованию, характеризующемуся значительной неоднородностью химической природы водовмещающих пород (Брылев, Овчарова, 2016).

Инфекционная заболеваемость. В целях оценки рисков осложнения эпидемиологической ситуации по острым кишечным инфекциям (ОКИ), связанным с водным путем передачи, нами был произведен сравнительный анализ районов аридного Заволжья со среднеобластным показателем, характеризующим удельный вес проб, превышающих гигиенические нормативы. 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). При этом оценивалась вероятность наступления бинарного события, где «1» (событие «да») соответствовало превышению среднеобластного значения процентной доли некондиционных проб воды в том или ином районе. Событие «0» («нет») описывало ситуацию, при которой удельный вес проб находился ниже средней по Волгоградской области величины. 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 достоверно выше среднеобластного показателя при $p < 0,05$ (рис. 6).

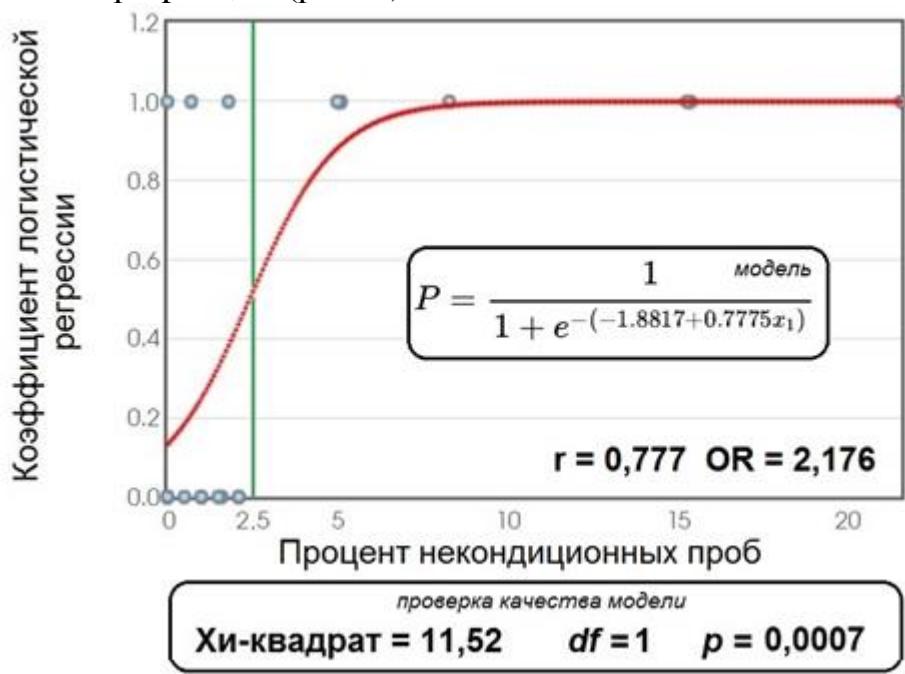


Рисунок 6 – Логит-функция вероятности превышения среднеобластного уровня некондиционных проб

Так как р-значение хи-квадрат теста оказалось значительно меньше 5%, то мы можем утверждать о значительном влиянии регрессора на переменную отклика. Оценка отношения шансов (OR) показала, что вероятность превышения среднерегионального значения доли некондиционных проб в районах аридного Заволжья значительно выше вероятности реализации альтернативного события. Значение $OR=2,18$ для события «1» в генеральной совокупности данных 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. Полученные данные позволяют использовать эту модель в качестве прогнозного инструмента осложнения медико-экологической ситуации в регионе.

Заключительная стадия оценки среднемноголетнего уровня (СМУ) 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. 7).

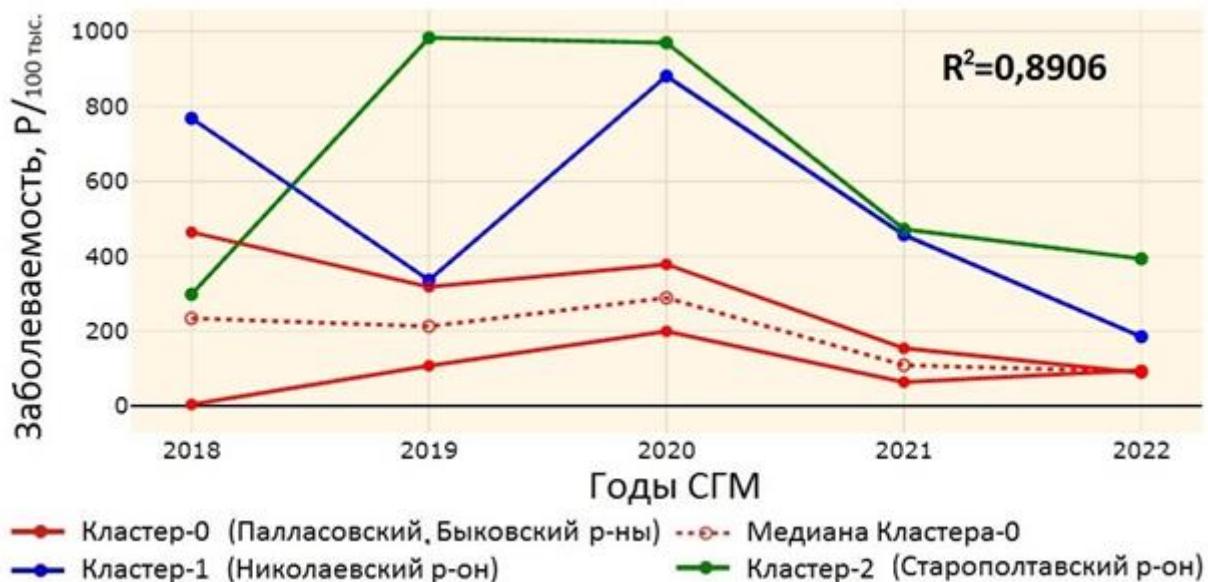


Рисунок 7 – Ранжирование административных территорий аридного Заволжья по показателю общей инфекционной заболеваемости (сумма ОКИ)

Значительный уровень дисперсии ($R^2=0,8906$) свидетельствует о существенности различий между кластерами и статистической валидности их выделения. Кластеру низкой заболеваемости соответствуют территории, занимаемые Быковским и Палласовским районами, со среднемноголетним уровнем заболеваемости $93,88\pm31,84$ и $280,40\pm69,78$ соответственно; к среднему уровню относится Николаевский район (СМУ заболеваемости – $525,40\pm103,72$). Высокая инфекционная заболеваемость, связанная с водным путем передачи, отмечена в Старополтавском районе ($623,20\pm146,86$ случаев на 100 тысяч человек).

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 $381,5 \pm 26,4$ мм (динамика по отношению к 2017 году $-5,06\%$) при среднегодовой температуре воздуха, равной $9,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ($+3,33\%$), 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 риска, 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 неканцерогенной 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 ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. 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/humecos601812.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Новиков Д.С. Оценка риска здоровью, ассоциированного с употреблением воды подземных источников Апшеронского комплекса Приэльтона / Д.С. Новиков, Ю.Д. Фролова // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2022. – № 1 (57). – С. 73–81. – DOI: 10.36906/2311-4444/22-1/08.

В научных изданиях вне перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

Свидетельства о регистрации результатов интеллектуальной деятельности

1. Новиков Д.С. 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 – № RU 2024615590; заявл. 2024614491, 04.03.2024; опубл. 11.03.2024.

2. Новиков Д.С. Качество подземных вод волгоградского Заволжья / Свидетельство о государственной регистрации базы данных – № RU 2024623301; заявл. 2024622895, 05.07.2024; опубл. 25.07.2024.

АННОТАЦИЯ

**кандидатской диссертации Новикова Д.С. на тему «Эколого-
гигиеническая оценка риска здоровью, связанного с потреблением
подземных вод аридных зон Заволжья»**

В работе проанализированы основные факторы, влияющие на качество подземных вод аридного Заволжья, включая геохимические и экологические аспекты изучаемой территории, оценена степень антропогенной нагрузки. Доказано влияние тенденции к аридизации территории на качество подземных вод. Выявлены основные загрязнители, влияющие на медико-экологическую ситуацию в аспекте потребления подземных вод населением Заволжья: хлороформ, нитраты, магний и железо.

Рассчитаны величины канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью, определена вероятность возникновения ольфакторных эффектов у водопотребителей. Основными критическими системами, подвергающимися опасности, являются: центральная нервная и сердечно-сосудистая системы, почки, печень и кровь. В отношении основных классов неинфекционных болезней выявлено наличие статистически значимой прямой корреляционной связи между показателями заболеваемости и этиологически связанными с ними уровнями риска по всем критическим системам. Доказана эффективность логит-модели в прогнозировании эпидемической картины распространения острых кишечных инфекций с водным путем передачи.

В процессе исследования доказана валидность 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.

ABSTRACT

PhD thesis by D.S. Novikov on the topic “Ecological and hygienic assessment of health risks associated with the consumption of groundwater in the arid zones of the Trans-Volga region”

The study analyzes the main factors affecting the quality of groundwater in the arid Trans-Volga region, including geochemical and ecological aspects of the study area, and assesses the degree of anthropogenic load. The effect of the trend toward aridization of the territory on the quality of groundwater has been proven by the current study. The main pollutants affecting the medical and ecological situation in terms of groundwater consumption by the population of the Trans-Volga region have been identified: chloroform, nitrates, magnesium, and iron.

The values of carcinogenic and non-carcinogenic risks to health are calculated, and the probability of olfactory effects in water consumers has been determined. The main critical systems at risk are: the central nervous and cardiovascular systems, kidneys, liver, and blood. With regard to the main classes

of non-communicable diseases, a statistically significant direct correlation was found between morbidity rates and etiologically associated risk levels for all critical systems. The efficiency of the logit model in forecasting the epidemic pattern of the spread of acute intestinal infections with waterborne transmission has been proven.

The study has proven the validity of the satellite aridity index NDMI (Normalized Difference Moisture Index) as a reliable tool for forecasting the long-term dynamics of the medical and ecological situation in the system "remote sensing of the Earth - health risk - non-infectious diseases" in the conditions of the arid Trans-Volga region.