

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco601812>

Прогнозирование риска здоровью населения юга России с применением спутниковых и климатических показателей засушливости

Д.С. Новиков, Н.И. Латышевская

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Аридизация территорий юга России способствует росту концентраций токсичных веществ в подземных водах в многолетней перспективе.

Цель. Проанализировать потенциал мультирегрессионной климатической модели в прогнозировании долгосрочной динамики рисков здоровью, связанных с пероральным поступлением токсикантов из подземных вод.

Материал и методы. Проведена оценка неканцерогенного риска здоровью (НР) в период 2017–2022 гг. в зоне залегания трёх бассейнов подземных вод волгоградского Заволжья. Концентрации токсикантов проанализированы в 1149 пробах воды на уровне 95-го перцентиля. Рассчитаны значения NDMI и индекса де Мартона (DMI), входные данные DMI модифицированы при помощи спутникового анализа LST (Land Surface Temperature). В модели НР выступил в качестве зависимой переменной, значения NDMI и DMI использовались как предикторы.

Результаты. Обнаружен значительный вклад хлороформа в общую картину риска для подземных вод в волгоградском Заволжье. Максимальные значения были зарегистрированы в Нижневолжском бассейне залегания подземных вод ($HQ_{дет/хлороформ} = 3,20$, $HQ_{взр/хлороформ} = 1,37$) в 2017 г. Спутниковый показатель засушливости NDMI вносит наибольший вклад в валидность прогностической модели многолетней динамики рисков здоровью, формируемых пероральным поступлением загрязнителей из подземных вод волгоградского Заволжья. Наименьшее из значений множественной регрессии отмечено для рисков здоровью взрослых ($r_{y,x1,x2} = -0,909$, $p = 0,012$) в Северо-Прикаспийском бассейне, максимальные величины зарегистрированы в Рын-Песковском для детей ($r_{y,x1,x2} = -0,992$, $p = 0,002$). Климатический индекс де Мартона продемонстрировал незначительную надёжность в прогнозировании многолетней динамики неканцерогенного риска здоровью, ассоциированного с токсикантами, циркулирующими в аридных экосистемах юга России — наибольший вклад данного предиктора отмечен для риска здоровью детей в Рын-Песковском бассейне ($r_{x2/x1} = -0,554$, $p = 0,105$).

Заключение. Выявлен потенциал внедрения показателя NDMI в процедуру социально-гигиенического мониторинга качества подземных вод аридных зон юга России. Высокое разрешение и чувствительность к количеству воды в степной растительности валидирует показатель NDMI для топографии аридных зон.

Ключевые слова: подземные воды; NDMI; индекс де Мартона; хлороформ; неканцерогенный риск; Заволжье.

Как цитировать:

Новиков Д.С., Латышевская Н.И. Прогнозирование риска здоровью населения юга России с применением спутниковых и климатических показателей засушливости // Экология человека. 2023. Т. 30, № 9. С. 707–720. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco601812>

Рукопись получена: 01.10.2023

Рукопись одобрена: 11.01.2024

Опубликована online: 19.01.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco601812>

Forecasting health risks for the residents of Southern Russia through satellite and climate-based aridity indicators

Denis S. Novikov, Natalia I. Latyshevskaya

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The aridification of the Southern region of Russia will lead to a significant rise in the concentration of hazardous substances in groundwater over the long term. This phenomenon poses a serious threat to the environment and public health.

AIM: To assess the potential of the multi-regression climate model in predicting the long-term health risks associated with the ingestion of toxic substances released from groundwater sources.

METHODS: An assessment of non-carcinogenic health risks (HI) was conducted for the period 2017–2022, focusing on three groundwater basins in the Volgograd Trans-Volga region. The study involved the analysis of toxicant concentrations in 1149 water samples at the 95th percentile. NDMI and De Martonne Index (DMI) values were calculated based on modified data obtained through Land Surface Temperature (LST) satellite analysis. These indices were then employed as predictors in our models, with the HI serving as the dependent variable.

RESULTS: A significant contribution of chloroform to the overall risk pattern for groundwater in the Volgograd Trans-Volga region was observed. The maximum values were recorded in the Nizhnevolzhskiy groundwater basin ($HQ_{\text{children/chloroform}}=3.20$, $HQ_{\text{adults/chloroform}}=1.37$) in 2017. The satellite aridity index NDMI makes the greatest contribution to the reliability of the predictive model of long-term health risk dynamics that shape the oral intake of pollutants from groundwater in the Volgograd Trans-Volga region. The lowest multiple regression value was noted for the health risk for adults ($r_{y,x1,x2}=-0.909$, $p=0.012$) in the Severo-Prikaspiyskiy basin, the maximum was recorded in Ryn-Peskovsky basin for children ($r_{y,x1,x2}=-0.992$, $p=0.002$). The DMI provides insignificant reliability in predicting long-term dynamics of non-carcinogenic health risks associated with toxicants circulating in arid ecosystems of the South of Russia. The greatest contribution of this predictor was observed for the health risk of children in the Ryn-Peskovsky basin ($r_{x2/x1}=-0.554$, $p=0.105$).

CONCLUSION: Our findings suggest a significant potential for integrating NDMI in monitoring the social and hygienic quality of underground water in arid zones of Southern Russia. The NDMI indicator has demonstrated high resolution and sensitivity to water quantity in steppe vegetation, reflecting its accuracy for arid topography. This integration holds promise for enhancing the monitoring and management of underground water resources in Southern Russia.

Keywords: groundwater; NDMI; De Martonne index; chloroform; non-carcinogenic risk; Trans-Volga region.

To cite this article:

Novikov DS, Latyshevskaya NI. Forecasting the health risk to the south of Russia population using satellite and climate indicators of aridity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(9):707–720. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco601812>

Received: 01.10.2023

Accepted: 11.01.2024

Published online: 19.01.2024

ВВЕДЕНИЕ

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 актуальной задачей [1–3].

Слабое инфильтрационное питание водовмещающих горизонтов способствует вторичному засолению почв с последующей миграцией токсикантов в подземные воды [4]. Gibbs R.J. выделяет ряд факторов, определяющих геохимические условия формирования подземных вод и, как следствие, их химический состав. Согласно предложенной автором 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 [5].

Незначительная глубина залегания и безнапорный характер водоносных горизонтов волгоградского Заволжья делает их уязвимыми к влиянию указанных факторов, что приводит к накоплению загрязнителей в слабодреннированных водовмещающих породах изучаемого региона, таких как пески, супеси и суглинки. 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). Ситуацию осложняет тенденция к нарастанию аридности: линия среднегодового температурного тренда на территории Заволжья в период 1979–2022 гг. демонстрировала рост на 31,08% при снижении суммы осадков на 22,15% [6]. Вместе с тем доля подземных источников централизованного водоснабжения Заволжья, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим показателям качества, в 2022 г. 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 г.) [7].

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. Расчёт спутниковых индексов позволяет снизить временные и финансовые затраты на получение необходимой информации [8]. Включение отдельных показателей, определённых с помощью технологий ДЗЗ, в процедуру социально-гигиенического мониторинга (СГМ) должно отвечать экологическим особенностям изучаемого региона [9]. Помимо этого, при отборе необходимо учитывать доступность входных данных, необходимых для расчёта 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 [10].

В Волгоградской области изучены эколого-географические предпосылки распространения возбудителя лихорадки Западного Нила при помощи спутниковых переменных NDVI и NDWI, однако комплексная оценка многолетней динамики неканцерогенного риска здоровью при воздействии химических веществ с помощью методов ДЗЗ ранее не производилась [11].

Цель исследования. Проанализировать потенциал мультирегрессионной климатической модели в прогнозировании долгосрочной динамики неканцерогенных рисков здоровью, связанных с пероральным поступлением токсикантов из подземных вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для достижения заявленной цели были проанализированы концентрации 10 токсикантов в 1149 пробах воды из мониторинговых точек подземных источников водоснабжения (смешанная и кольцевая разводящие сети) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области филиал в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах» за 2017–2022 гг. Неканцерогенный риск здоровью населения был оценён на основе «Руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04) [12]. Для взрослого и детского населения использовались стандартные факторы пероральной экспозиции веществ. Территориальная группировка анализируемых проб воды основывалась на гидрогеологической природе волгоградского Заволжья и включала в себя анализ точек водозабора, расположенных в зоне залегания трёх бассейнов подземных вод III порядка: Нижневолжского, Северо-Прикаспийского и Рын-Песковского. Общая площадь исследуемого подземного водосбора составила 27,1 тыс. км² (рис. 1).

Климатический показатель засушливости — индекс аридности де Мартонна (DMI) [13] — был определён по формуле, имеющей вид:

$$DMI = P / (T + 10),$$

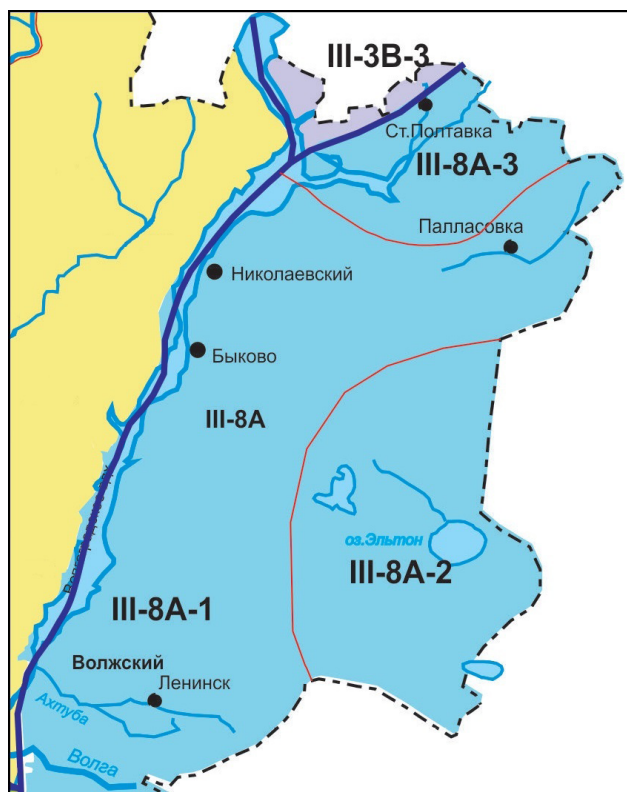
где P — годовая сумма выпавших осадков, мм;
 T — среднегодовая температура воздуха, °С.

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). Выборка температур по отчётам Палласовского, Эльтонского, Старополтавского, Быковского и Николаевского метеорологических постов была модифицирована с помощью инструментов зональной статистики при определении показателя LST (Land Surface Temperature). Анализ спутникового индекса засушливости NDMI (Normalized Difference Moisture Index) производился на основе снимков NIR и SWIR каналов Landsat-8 из картографической базы данных EarthExplorer (отбор данных на уровне показателя CloudCover $\leq 20\%$) [14]. Программирование геоинформационных систем (ГИС) выполнялось в программном пакете QGIS v3.30. Выбор методов оценки аридности территорий продиктован доступностью входных данных, что позволяет внедрить данные показатели в процедуру социально-гигиенического мониторинга среды обитания человека.

Статистический анализ

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 (зависимая переменная ΣHI , y) был выбран агрегированный сценарий, реализованный в виде расчёта доз поступления по верхней границе 95%-го доверительного интервала (ДИ). Влияние спутникового (NDMI, x_1) и климатического (DMI, x_2) индексов засушливости на динамику риска здоровью оценивалась путём построения уравнения множественной регрессии (r_{y, x_1, x_2}) в стандартном масштабе с определением β -коэффициентов, также был рассчитан коэффициент детерминации (R^2). Выбор метода обусловлен гипотезой о наличии как прямого, так и косвенного влияния одного из признаков-факторов на резуль- тативный показатель (т.е. влияние через другие факторы модели). Адекватность включения предикторов в модель оценивалась с помощью проверки факторов на мульти- коллинеарность (VIF), были определены парные и частные коэффициенты корреляции.

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 предсказания значения неканцерогенной опасности



Бассейны подземных вод II порядка (подпровинции)
 Groundwater basins of the second order (subprovinces)

III-8A — Северо-Каспийский | North Caspian

— Граница | Border

Бассейны подземных вод III порядка (области)
 Groundwater basins of the third order (regions)

III-8A-1 — Нижневолжский | Nizhnevolzhskiy

III-8A-2 — Рын-Песковский бассейн | Ryn-Peskovskiy

III-8A-2 — Северо-Прикаспийский бассейн | Severo-Priskaspiyskiy

— Граница | Border

Рис. 1. Гидрогеологическая природа Заволжья в административных границах Волгоградской области.

Fig. 1. Hydrogeological nature of the Trans-Volga Region within the administrative borders of the Volgograd region.

в десятилетнем периоде (t_{10}) выполнялось с использованием модели ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). При сглаживании рядов динамики был применён метод 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 $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На территории волгоградского Заволжья, гидрогеологически представленного Северо-Каспийским артезианским бассейном II порядка, главным образом формируются солёные воды и рассолы с изменчивым химическим составом. В подземных источниках хозяйственно-питьевого

водоснабжения исследуемого региона ежегодно регистрируется превышения ПДК по таким загрязнителям, как хлороформ, железо, хлориды, сульфаты, магний, натрий, кальций, отмечается несоответствие нормативам по показателю общей жёсткости, что соотносится с химической природой аллювиальных водоносных горизонтов морского генеза.

Рассчитанные по данным протоколов СГМ суммарные значения (ΣHI) рисков здоровью взрослого и детского населения Заволжья имели схожую многолетнюю динамику для всех входящих в Северо-Каспийскую подпровинцию бассейнов III порядка. Значительные величины индивидуального вклада хлороформа ($HQ_{дет} > 1$) в общую картину неканцерогенной опасности регистрировались в 2017, 2020 и 2021 гг. для каждой из трёх изучаемых территорий. В 2017 г. 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%.

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. 1).

На следующем этапе исследования были определены критические системы, подвергающиеся риску (HI) развития неканцерогенных эффектов с учётом сопоставленного действия токсикантов: кровь (хлороформ, железо, марганец, нитраты, нитриты); почки (хлороформ, кальций, нефтепродукты); центральная нервная система — ЦНС (хлороформ, марганец); сердечно-сосудистая система — CCC (нитраты, натрий); 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 [15]. 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 исключён из анализа итоговой рисковой картины (рис. 2).

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

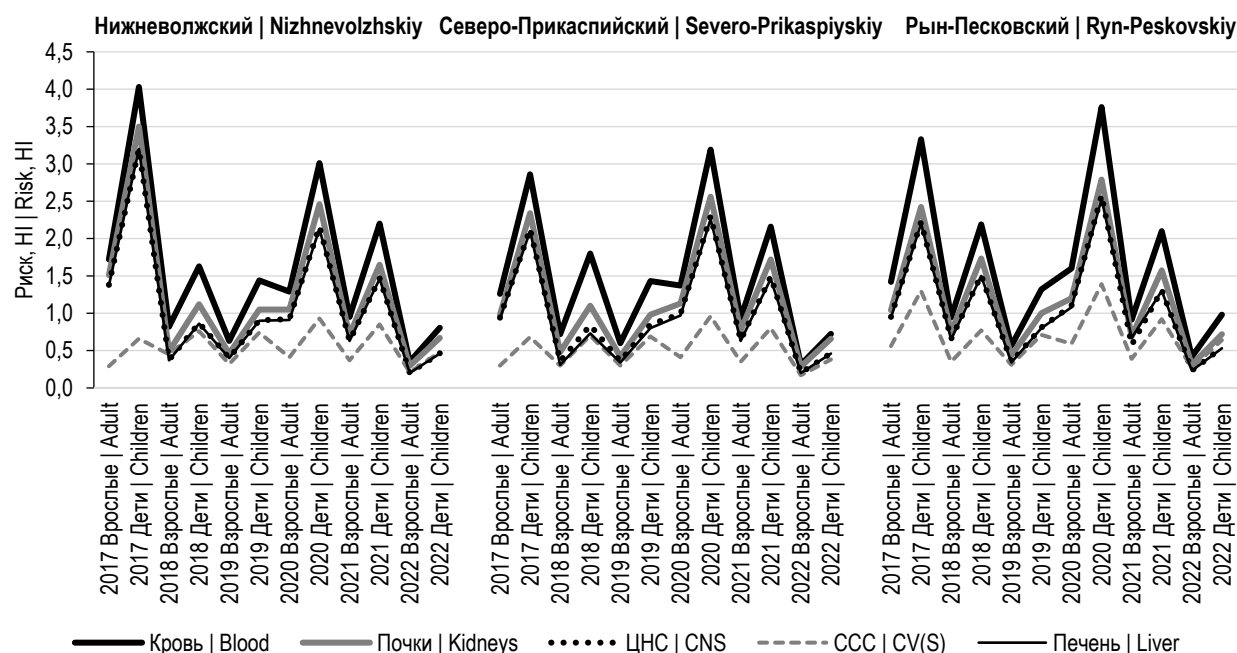


Рис. 2. Значения многолетней динамики рисков здоровью по основным критическим системам, подвергающимся опасности развития неканцерогенных эффектов в зоне Северо-Каспийского бассейна II порядка: ЦНС — центральная нервная система; CCC — сердечно-сосудистая система.

Fig. 2. Values of long-term trends of health risks for the main targets for developing non-carcinogenic effects in the North Caspian basin of the second order: CNS — central nervous system; CV(S) — cardiovascular system.

Таблица 1. Значения неканцерогенного риска здоровью, рассчитанные по верхней границе 95%-го доверительного интервала**Table 1.** Non-carcinogenic health risk values calculated using the upper limit of the 95% confidence interval

Показатель Indicator	Неканцерогенный риск, HQ Non-carcinogenic risk, HQ											
	2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	Взрослые Adults	Дети Children	Взрослые Adults	Дети Children	Взрослые Adults	Дети Children	Взрослые Adults	Дети Children	Взрослые Adults	Дети Children	Взрослые Adults	Дети Children
Нижневолжский бассейн Nizhnevolzhskiy basin												
Хлороформ Chloroform	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 Iron	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 Nitrates	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 Nitrites	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 Manganese	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 Sodium	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 Calcium	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 Magnesium	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 Fluorine	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 Petrochemicals	0,05	0,10	0,02	0,04	7e-3	0,02	0,05	0,11	9e-3	0,02	5e-3	0,01
ΣHI	2,34	5,43	1,27	2,62	1,10	2,20	2,13	4,93	1,58	3,67	0,72	1,65
Вклад хлороформа в HI, % Contribution of chloroform to HI, %	58,55	58,93	29,13	32,82	36,36	40,91	42,72	43,20	39,87	39,78	27,78	27,88
Северо-Прикаспийский бассейн Severo-Prikaspiyskiy basin												
Хлороформ Chloroform	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 Iron	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 Nitrates	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 Nitrites	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 Manganese	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 Sodium	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 Calcium	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 Magnesium	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 Fluorine	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 Petrochemicals	0,04	0,10	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04	0,09	9e-3	0,02	6e-3	0,01
ΣHI	1,64	4,10	1,24	2,89	1,17	2,76	2,25	5,23	1,70	3,91	0,78	1,84
Вклад хлороформа в HI, % Contribution of chloroform to HI, %	56,71	51,22	25,00	25,26	29,06	28,99	43,11	43,21	37,06	37,34	25,64	25,00
Рын-Песковский бассейн Ryn-Peskovskiy basin												
Хлороформ Chloroform	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 Iron	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 Nitrates	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 Nitrites	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 Manganese	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 Sodium	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 Calcium	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 Magnesium	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 Fluorine	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 Petrochemicals	2e-3	4e-3	2e-3	4e-3	4e-3	8e-3	7e-3	0,01	2e-3	4e-3	9e-4	2e-3
ΣHI	2,07	4,80	1,51	3,46	1,04	2,42	2,45	5,74	1,65	3,78	0,81	1,89
Вклад хлороформа в HI, % Contribution of chloroform to HI, %	45,41	45,83	43,05	43,35	32,69	33,06	44,08	44,08	34,55	34,39	28,40	28,04

сходную динамику. Минимальные значения риска, рассчитанные с учётом сопоставленного действия токсикантов, относились к сердечно-сосудистой системе, что объясняется отсутствием вклада хлороформа в этот феномен. Превышение допустимого уровня HI_{ccc} выявлено для детей лишь на территории Рын-Песковского бассейна III порядка в 2017 и 2020 гг. ($HI_{дет/ccc}=1,30$; $HI_{дет/ccc}=1,39$, 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 г. ($HI_{взр/кровь}=1,51$; $HI_{дет/кровь}=4,03$), в Северо-Прикаспийском и Рын-Песковском бассейнах пиковые величины относились к 2020 г. ($HI_{взр/кровь}=1,26$, $HI_{дет/кровь}=2,86$; $HI_{взр/кровь}=1,42$, $HI_{дет/кровь}=3,33$, соответственно). Необходимо отметить, что в 2019 г. 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 ΣHI 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 г. 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: $T_{набл}=20,60$, $T_{крит}=9,92$).

Принимая во внимание значимые отличия между показателями неканцерогенного риска в разные годы и гидрогеологические особенности волгоградского Заволжья, мы произвели вычисление спутникового индекса засушливости NDMI — первого признак-фактора регрессионной модели (x_1). Для каждого из трёх бассейнов III порядка был создан векторный слой для расчёта зональной статистики раstra с диапазоном вариации индекса от -1 (засушливые территории) до 1 (увлажнённые территории) (рис. 3).

Различия между «влажным» 2019 и засушливым 2020 гг. оказались достоверными при $p < 0,05$ для связанных выборок ($T_{набл}=9,70$, $T_{крит}=4,30$), динамика NDMI в диапазоне 2020–2022 гг. также продемонстрировала достоверные отличия изучаемого показателя ($T_{набл}=21,50$, $T_{крит}=9,392$, $p < 0,01$).

Для определения второго признак-фактора (x_2) нами была произведена модификация расчётной формулы индекса де Мартона с использованием зональной статистики по спутниковому показателю LST, заключающаяся в замене среднемесячных температур воздуха на усреднённые температуры земной поверхности для каждого из трёх бассейнов подземных вод. При выводе итогового изображения раstra, индивидуальные для каждого

месяца метаданные снимков были трансформированы в среднегодовое значение (рис. 4).

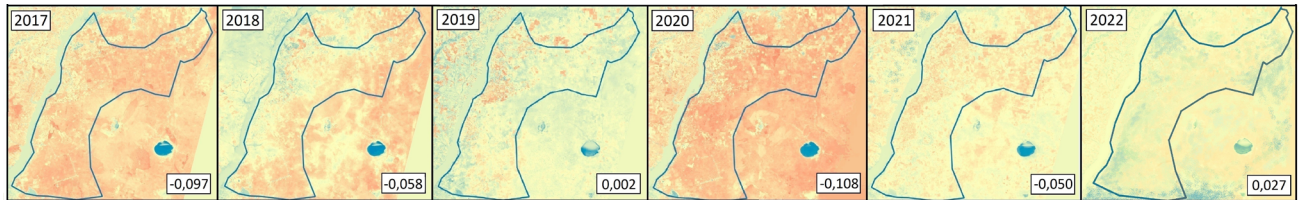
Полученные значения суммарных рисков здоровью, NDMI, DMI, а также взаимосвязь между изучаемыми явлениями приведены в табл. 2. Между предикторами и зависимой переменной существует обратная связь: снижение значений влияющих факторов свидетельствует о росте аридности, что способствует росту концентраций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

Нами были выявлены высокие корреляционные связи между показателями засушливости и рисками развития неканцерогенных эффектов для трёх 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 прогнозную регрессионную модель риска по трём 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 (ΣHI), чем индекс де Мартона. 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 ΣHI 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.

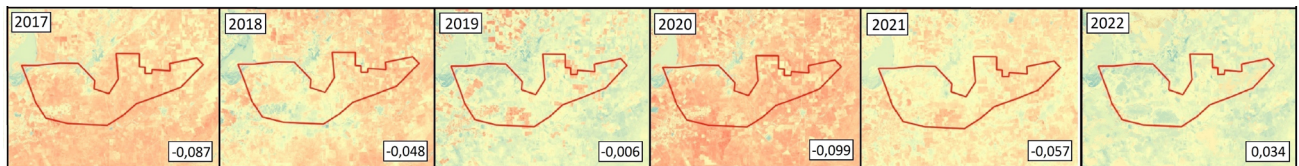
На основании этих феноменов можно сделать вывод о том, что введение параметра DMI в модель приводит к незначительному росту тесноты связи между NDMI и значением суммарного неканцерогенного риска здоровью. Наблюдаемые значения t -статистики для наименьшего из коэффициентов корреляции r_{yx1} (Нижневолжский 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 x_2 ($T_{набл}=3,28$, $T_{крит}=4,17$) при $p < 0,05$ (табл. 2).

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

Нижневолжский бассейн | Nizhnevolzhskiy basin



Северо-Прикаспийский бассейн | Severo-Prikaspiyskiy basin



Рын-Песковский бассейн | Ryn-Peskovskiy basin

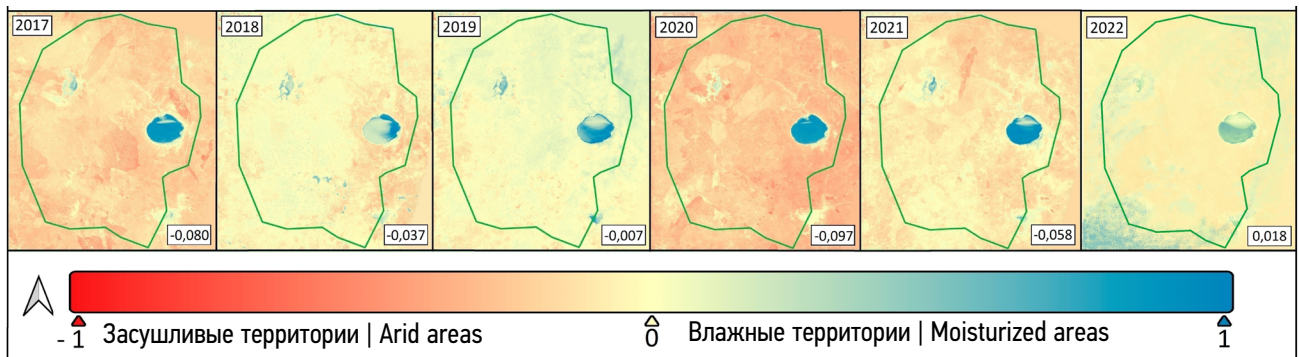


Рис. 3. Растровые карты бассейнов подземных вод III порядка с зональной статистикой индекса засушливости NDMI (2017–2022 гг.).
Fig. 3. Raster maps of the third order groundwater basins with zonal statistics of the NDMI aridity index (2017–2022).

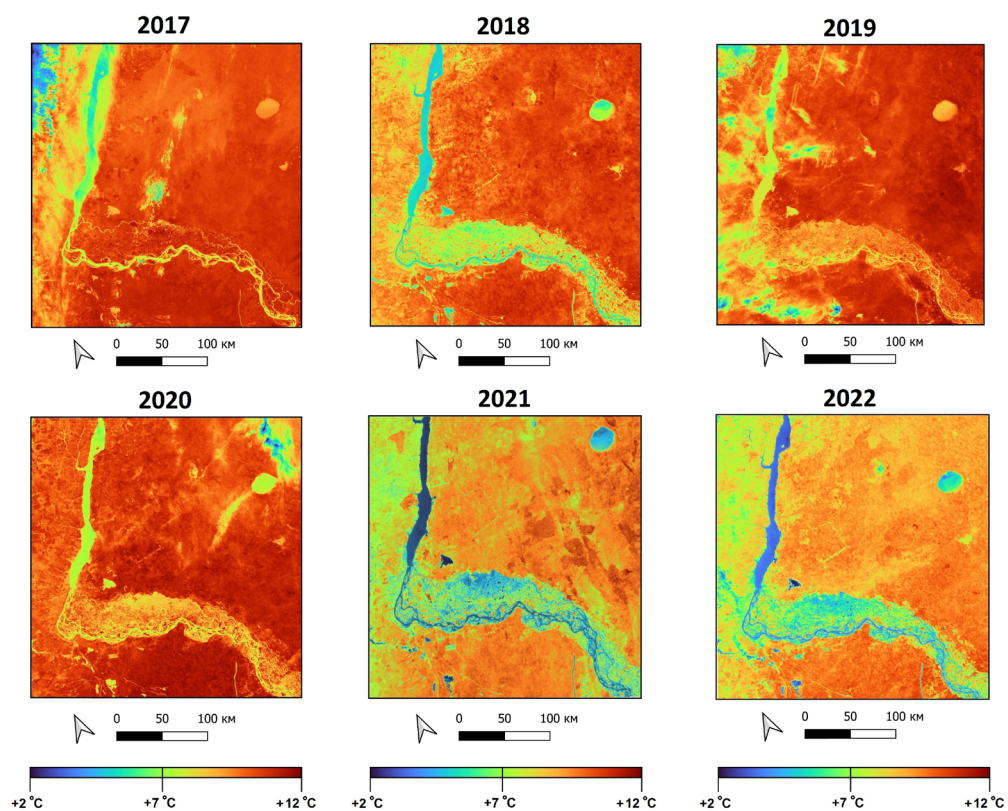


Рис. 4. Растровые карты показателя LST в волгоградском Заволжье (2017–2022 гг.).
Fig. 4. Raster maps of the LST indicator in the Volgograd Trans-Volga Region (2017–2022).

Таблица 2. Множественные корреляционные связи между исследуемыми показателями и прогностическая сила модели**Table 2.** Multiple correlations between the studied indicators and the predictive power of the model

Бассейны подземных вод III порядка Groundwater basins of the third order	Год Year	NI(y), взрослые/ дети adults/ children	NDMI(x ₁)	DMI(x ₂)	Коэффициент множественной корреляции (r _{y,x1,x2}), взрослые/дети Multiple correlation coefficient (r _{y,x1,x2}), adults/children	Коэффициент детерминации R ² , взрослые/ дети Determination coefficient R ² , adults/ children	Коэффициент Тейла V, взрослые/ дети Theil coefficient V, adults/ children	p, взрослые/ дети adults/ children
Нижне-волжский Nizhne-volzhskiy	2017	2,34/5,43	-0,097	15,32				
	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	-0,939/-0,925	0,881/0,846	0,014/0,020	0,005/0,009
	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 Severo-Priskaspiyskiy	2017	1,64/4,10	-0,087	22,12				
	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	-0,909/-0,942	0,828/0,887	0,016/0,011	0,012/0,006
	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 Ryn-Peskovskiy	2017	2,06/4,80	-0,080	12,75				
	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	-0,992/-0,990	0,984/0,980	0,002/0,002	<0,001/ <0,001
	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	-				

во всех трёх случаях оказались меньше 0,1, причём 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 аггривированному сценарию засухи. Доверительные интервалы 95-го перцентиля для горизонта прогнозирования риска t_{10} имели следующие значения:

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

- Северо-Прикаспийский бассейн:

NI_{взрослые} (2,74–6,83, $p=0,012$), NI_{дети} (7,22–15,62, $p=0,006$);

- Рын-Песковский бассейн:

NI_{взрослые} (5,59–7,75, $p < 0,001$), NI_{дети} (12,72–18,40, $p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Примечательным моментом в нашем исследовании является значительный вклад хлороформа в формирование неканцерогенного риска здоровью. Для детей минимальные значения индивидуальной опасности (NQ_{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 [16]. Однако данные Hunkeler D. и соавт. [17] и Breider F. и соавт. [18], 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. В условиях территорий, лишённых 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 [19]. Peng P. и соавт. отмечают высокий потенциал солёных сред в естественном галогенировании органических веществ с образованием хлороформа [20]. Это согласуется с эдафическими особенностями Заволжья, для которого характерны засоленные грунты (солонды, солонцы и солончаки), формирующие солёные воды и рассолы [21].

Нами установлено, что для аридизированных 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 «зелёных» древесных фитоценозов при равном проективном покрытии. SWIR-индекс NDMI взаимодействует с количеством воды в растительности, тем самым снимая фактор неопределённости, 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. [22], представленными для западных регионов Казахстана.

Нами обнаружены сильные корреляционные связи между спутниковым показателем NDMI и рисками здоровью, обусловленными засухозависимыми веществами. В работе А.В. Косарева с соавт. показан высокий линейный отклик HI на изменение аридности, оценённый с помощью NDMI для малых рек Башкортостана и Саратовской области [23]. 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 ($HQ_{\text{дет/железо}}=0,30$, $HQ_{\text{дет/нитраты}}=0,98$); наиболее «влажному»

2022 г. были свойственны наименьшие уровни риска по этим веществам ($HQ_{\text{дет/железо}}=0,05$, $HQ_{\text{дет/нитраты}}=0,14$). Деятельность термофильных железовосстанавливающих бактерий, а также индуцированное повышением температуры гниение органических соединений обуславливают экосистемную преемственность между негативными климатическими тенденциями и положительной динамикой риска здоровью.

Помимо этого, наши данные о значительном влиянии аридного тренда на качество подземных вод Заволжья по показателям натрия, кальция и магния соотносятся с результатами исследования Balamirugan P. и соавт. в индийском Тамилнаде [24]. Величины парной корреляции Пирсона между суммарным риском по трём 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 отчётах 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 соединениями (блок «Определяющие антропогенные ингредиенты») необходима реализация дополнительных реагентных способов обработки — сорбционная доочистка в стационарном слое адсорбента. Учитывая природные особенности изучаемых подземных водоисточников (2 класс: $\text{Fe} < 3 \text{ мг/дм}^3$, $\text{Mn} < 0,1 \text{ мг/дм}^3$), в соответствии с СП 31.13330.2021 рекомендована следующая технологическая схема водоподготовки: упрощённая аэрация, фильтрация, стабилизация (блок «Очистка подземных вод от природных загрязнений»).

Перспектива дальнейших исследований может быть связана с анализом концентраций биогенного и абиогенного хлороформа в водовмещающих породах с целью уточнения природы поступающего в питьевые воды загрязнителя. Кроме того, изучение достаточного количества нецентрализованных источников водоснабжения также способно уточнить полученные нами данные.

В работе не оценивалась перкутанная и ингаляционная экспозиция токсикантов, что может быть интерпретировано как фактор неопределённости в трактовке результатов исследования. По данным Т.И. Иксановой с соавт. [25], 68% среднесуточной дозы CHCl_3 поступает в организм человека ингаляционным и накожным путём при принятии душа. Особенности поведения хлорорганических веществ способны сформировать ещё один вектор потенциальных исследований, основанный на оценке вклада различных типов экспозиций хлороформа в общую хроническую интоксикацию данным загрязнителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружен значительный вклад хлороформа в общую картину неканцерогенной опасности для подземных вод хозяйственно-питьевого назначения в волгоградском Заволжье. Максимальные значения были зарегистрированы в Нижневолжском бассейне залегания подземных вод ($HQ_{дет/хлороформ} = 3,20$, $HQ_{взр/хлороформ} = 1,37$) в 2017 г. Выявлен потенциал внедрения спутникового показателя NDMI в процедуру социально-гигиенического мониторинга качества подземных вод аридных зон юга России. Данный индикатор засушливости вносит наибольший вклад в валидность прогностической модели многолетней динамики рисков здоровью, формируемых пероральным поступлением загрязнителей из подземных вод волгоградского Заволжья. Наименьшее из значений множественной регрессии было отмечено для рисков здоровью взрослых ($r_{y,x1,x2} = 0,909$, $p = 0,012$) в Северо-Прикаспийском бассейне, максимальные величины зарегистрированы в Рын-Песковском для детей ($r_{y,x1,x2} = 0,992$, $p = 0,002$). Климатический индекс де Мартона демонстрировал незначительную надежность в прогнозировании многолетней динамики неканцерогенного риска здоровью, ассоциированного с токсикантами, циркулирующими в аридных экосистемах юга России. Высокое разрешение и чувствительность к количеству воды в степной растительности валидирует показатель NDMI для топографии аридных зон.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.С. Новиков — сбор и анализ литературных источников; программирование в среде геоинформационных систем; статистическая обработка, анализ и интерпретация данных; подготовка и написание первого варианта статьи. Н.И. Латышевская — концепция и дизайн исследования, редактирование текста, утверждение окончательного варианта рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный

вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за предоставление данных О.М. Мазулину — главному врачу филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области в г. Волжский, Ленинском, Среднеахтубинском, Николаевском, Быковском, Палласовском, Старополтавском районах» и Л.П. Руруа — главному специалисту-эксперту отдела надзора за условиями труда и радиационной безопасности Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. D.S. Novikov — collection and analysis of literary sources; geographic information systems programming; statistical processing, analysis and interpretation of data; preparation and writing the first sample of article. N.I. Latyshevskaya — concept and design research, text editing, final manuscript approval. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgments. The authors express their gratitude for providing data to O.M. Mazulin — Chief physician of the Branch of the Federal Budgetary Health Institution "Center for Hygiene and Epidemiology in the Volgograd Region in Volzhsky, Leninsky, Sredneakhtubinsky, Nikolaevsky, Bykovsky, Pallasovsky, Staropoltavsky districts" and L.P. Rurua — Chief Specialist-Expert of the Department for Supervision of Working Conditions and Radiation Safety of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing Office for the Volgograd Region.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахманин Ю.А., Мельцер А.В., Киселев А.В., Ерастова Н.В. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 4. С. 302–305.
doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305
2. Косарев А.В., Иванов Д.Е., Микеров А.Н., Савина К.А. Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью, обусловленных качеством питьевой воды родников аридной зоны // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 11. С. 1294–1300.
EDN: HVDGPU doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1294-1300
3. Feng S., Wu X., Hao Z., et al. A database for characteristics and variations of global compound dry and hot events // Weather and Climate Extremes. 2020. Vol. 30. P. 100299.
doi: 10.1016/j.wace.2020.100299
4. Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., и др. Об использовании пресных подземных вод засушливых регионов мира в борьбе с опустыниванием земель // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25, № 2. С. 3–12. EDN: PJYQLZ
5. Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry // Science. 1970. Vol. 170, N 3962. P. 1088–1090.
doi: 10.1126/science.170.3962.1088
6. Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Доклад «О состоянии окружающей среды в Волгоградской области в 2022 году». Волгоград. 2023. 300 с.
7. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Волгоградской области. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области в 2022 году». Волгоград. 2023. 258 с.

8. Адамович Т.А., Ашихмина Т.Я. Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 15–24. EDN: YMAJIT
9. Студеникина Е.М., Степкин Ю.И., Клепиков О.В., и др. Проблемные вопросы использования географических информационных систем в социально-гигиеническом мониторинге и риск-ориентированном надзоре // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 6. С. 31–36. EDN: OEJXHN doi: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-31-36
10. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Svoboda M., Fuchs B.A. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. 2016. 60 p.
11. Зелихина С.В., Шартова Н.В., Миронова В.А., Варенцов М.И. Эколого-географические предпосылки распространения лихорадки Западного Нила в России // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5, № 1. С. 132–150. EDN: DSIXBK doi: 10.24411/2542-2006-2021-10081
12. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Москва : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
13. Pellicone G., Caloiero T., Guagliardi I. The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy) // Journal of Maps. 2019. Vol. 15, N 2. P. 788–796. doi: 10.1080/17445647.2019.1673840
14. Gao B. Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space // Imaging Spectrometry. 1995. Vol. 2480. P. 225–236. doi: 10.1117/12.210877
15. Агалакова Н.И., Гусев Г.П. Влияние неорганического фтора на живые организмы различного филогенетического уровня // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2011. Т. 47, № 5. С. 337–347. EDN: MSISRJ
16. Марченко Б.И., Журавлев П.В., Плуготаренко Н.К., Юхно А.И. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений в воде систем централизованного водоснабжения // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 2. С. 99–110. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-99-110
17. Hunkeler D., Laier T., Breider F. Jacobsen O.S. Demonstrating a natural origin of chloroform in groundwater using stable carbon isotopes // Environmental science and technology. 2012. Vol. 46, N 11. P. 6096–6101. doi: 10.1021/es204585d
18. Breider F., Albers C.N., Hunkeler D. Assessing the role of trichloroacetyl-containing compounds in the natural formation of chloroform using stable carbon isotopes analysis // Chemosphere. 2013. Vol. 90, N 2. P. 441–448. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.07.058
19. Field J.A. Natural Production of Organohalide Compounds in the Environment. In: Adrian L., Löffler F., editors. Organohalide-Respiring Bacteria. Springer, Berlin, Heidelberg. 2016. P. 7–29. doi: 10.1007/978-3-662-49875-0_2
20. Peng P., Lu Y., Bosma T.N.P., et al. Metagenomic- and Cultivation-Based Exploration of Anaerobic Chloroform Biotransformation in Hypersaline Sediments as Natural Source of Chloromethanes // Microorganisms. 2020. Vol. 8, N 5. P. 665. doi: 10.3390/microorganisms8050665
21. Панкова Е.И., Горохова И.Н., Конюшкова М.В., и др. Современные тренды развития почв солонцовых комплексов на юге степной и в полупустынной зонах в природных условиях и при антропогенных воздействиях // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 2. С. 44–88. doi: 10.24411/2542-2006-2019-10032
22. Malakhov D.V., Tsyhuyeva N.Yu. Calculation of the biophysical parameters of vegetation in an arid area of south-eastern Kazakhstan using the normalized difference moisture index (NDMI) // Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation. 2020. Vol. 1, N 4. P. 189–198. doi: 10.22034/CAJESTI.2020.04.012
23. Косарев А.В., Иванов Д.Е., Микеров А.Н., и др. Применение геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли для оценки влияния аридности территории на качество воды малых рек // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 10. С. 1052–1059. EDN: DZJUBF doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1052-1059
24. Balamurugan P., Kumar P.S., Shankar K., et al. Non Carcinogenic Risk Assessment of Groundwater in southern part of Salem District in Tamil Nadu, India // Journal of the Chilean Chemical Society. 2020. Vol. 65, N 1. P. 4697–4707. doi: 10.4067/S0717-97072020000104697
25. Иксанова Т.И., Малышева А.Г., Растянкин Е.Г., и др. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды // Гигиена и санитария. 2006. № 2. С. 10–14.
26. Джамали З., Хейдаризади З. Прогнозирование изменений на засушливых территориях с использованием статистической модели масштабирования (SDSM) в западной части Горганской равнины, Иран // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 4. С. 4–12. EDN: YSNQNJ doi: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12
27. Ямилова О.Ю., Ковальчук В.К. Особенности влияния химических загрязнителей маломинерализованной питьевой воды на здоровье населения Дальнего Востока // Российский вестник гигиены. 2021. № 3. С. 36–41. EDN: TPVWJE doi: 10.24075/rbh.2021.022

REFERENCES

1. Rakhmanin YuA, Mel'tser AV, Kiselev AV, Erastova NV. Hygienic substantiation of management decisions with the use of the integral assessment of drinking water on indices of chemical harmlessness and epidemiological safety. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(4):302–305. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305
2. Kosarev AV, Ivanov DE, Mikerov AN, Savina KA. Evaluation of a carcinogenic and non-carcinogenic health risks due to the quality of drinking water by springs in the arid zone. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(11):1294–1300. EDN: HVDGPU doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1294-1300

3. Feng S, Wu X, Hao Z, et al. A database for characteristics and variations of global compound dry and hot events. *Weather and Climate Extremes*. 2020;30:100299. doi: 10.1016/j.wace.2020.100299
4. Zalibekov ZG, Mamaev SA, Biarslanov AB, et al. On the use of fresh groundwater in arid regions of the world in the fight against desertification. *Arid ecosystems*. 2019;25(2):3–12. EDN: PJYQLZ
5. Gibbs RJ. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*. 1970;170(3962):1088–1090. doi: 10.1126/science.170.3962.1088
6. Komitet prirodnih resursov, lesnogo hozyajstva i ekologii Volgogradskoj oblasti. Doklad "O sostoyanii okruzhayushchej sredy v Volgogradskoj oblasti v 2022 godu". Volgograd; 2023. 300 p. (In Russ).
7. Upravlenie Federal'noj sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel'ej i blagopoluchiya cheloveka po Volgogradskoj oblasti. Gosudarstvennyj doklad "O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Volgogradskoj oblasti v 2022 godu". Volgograd. 2023. 258 p. (In Russ).
8. Adamovich TA, Ashikhmina TYa. Aerospace methods in the system of geo-ecological monitoring of natural and anthropogenic areas. *Theoretical and Applied Ecology*. 2017;(3):15–24. EDN: YMAJIT
9. Studenikina EM, Stepkin Yul, Klepikov OV, et al. Problematic issues of the geographic information systems use in socio-hygienic monitoring and risk-based supervision. *Public Health and Life Environment*. 2019;(6):31–36. EDN: OEJXHN doi: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-31-36
10. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Svoboda M, Fuchs BA. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. 2016. 60 p.
11. Zelikhina SV, Shartova NV, Mironova VA, Varentsov MI. Ecological and geographical prerequisites for the spread of West Nile fever in Russia. *Ecosystems: ecology and dynamics*. 2021;5(1):132–150. EDN: DSIXBK doi: 10.24411/2542-2006-2021-10081
12. Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals. Moscow: Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia. 2004. 143 p.
13. Pellicone G, Caloiero T, Guagliardi I. The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy). *Journal of Maps*. 2019;15(2):788–796. doi: 10.1080/17445647.2019.1673840
14. Gao B. Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Imaging Spectrometry*. 1995;2480:225–236. doi: 10.1117/12.210877
15. Agalakova NI, Gusev GP. The influence of inorganic fluorine on living organisms of various phylogenetic levels. *Journal of evolutionary biochemistry and physiology*. 2011;47(5):337–347. EDN: MSISRJ
16. Marchenko BI, Zhuravlev PV, Plugotarenko NK, Yuhno AI. Assessment of carcinogenic risk from exposure to organochlorine compounds in water of centralized water supply systems. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(2):99–110. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-99-110
17. Hunkeler D, Laier T, Breider F, Jacobsen OS. Demonstrating a natural origin of chloroform in groundwater using stable carbon isotopes. *Environmental science and technology*. 2012;46(11):6096–6101. doi: 10.1021/es204585d
18. Breider F, Albers CN, Hunkeler D. Assessing the role of trichloroacetyl-containing compounds in the natural formation of chloroform using stable carbon isotopes analysis. *Chemosphere*. 2013;90(2):441–448. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.07.058
19. Field JA. Natural Production of Organohalide Compounds in the Environment. In: Adrian L, Löffler F, editors. *Organohalide-Respiring. Bacteria*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2016:7–29. doi: 10.1007/978-3-662-49875-0_2
20. Peng P, Lu Y, Bosma TNP, et al. Metagenomic- and Cultivation-Based Exploration of Anaerobic Chloroform Biotransformation in Hypersaline Sediments as Natural Source of Chloromethanes. *Microorganisms*. 2020;8(5):665. doi: 10.3390/microorganisms8050665
21. Pankova EI, Gorokhova IN, Konyushkova MV, et al. Modern trends in the development of soils of solonetz complexes in the south of the steppe and semi-desert zones under natural conditions and under anthropogenic influences. *Ecosystems: ecology and dynamics*. 2019;3(2):44–88. doi: 10.24411/2542-2006-2019-10032
22. Malakhov DV, Tsyhuyeva NYu. Calculation of the biophysical parameters of vegetation in an arid area of south-eastern Kazakhstan using the normalized difference moisture index (NDMI). *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*. 2020;1(4):189–198. doi: 10.22034/CAJESTI.2020.04.01
23. Kosarev AV, Ivanov DE, Mikerov AN, et al. Application of geoinformation technologies and remote sensing of the Earth to assess the impact of aridity of the territory on the water quality of small rivers. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(10):1052–1059. EDN: DJJUBF doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1052-1059
24. Balamurugan P, Kumar PS, Shankar K, et al. Non Carcinogenic Risk Assessment of Groundwater in southern part of Salem District in Tamil Nadu, India. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2020;65(1):4697–4707. doi: 10.4067/S0717-97072020000104697
25. Iksanova TI, Malysheva AG, Rastyannikov EG, et al. Hygienic assessment of the complex effect of chloroform in drinking water. *Hygiene and Sanitation*. 2006;2:10–14.
26. Jamali Z, Heidarizadi Z. Future changes in dry conditions using statistical downscaling model (SDSM) in the western region of Gorgan plain, Iran. *Arid Ecosystems*. 2022;28(4):4–12. EDN: YSNQNJ doi: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12
27. Yamilova OY, Koval'chuk VK. Peculiarities of low-mineralized drinking water chemical contamination influence on health of the population of the Russian Far East. *Russian Bulletin of Hygiene*. 2021;(3):36–41. EDN: TPVWJE doi: 10.24075/rbh.2021.022

ОБ АВТОРАХ

*** Новиков Денис Сергеевич;**

адрес: Россия, 400131, Волгоград, пл. Павших борцов, д. 1;

ORCID: 0000-0002-2886-5431;

eLibrary SPIN: 4583-6672;

e-mail: dennov89@mail.ru

Латышевская Наталья Ивановна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-8367-745X;

eLibrary SPIN: 7299-4690;

e-mail: latyshnata@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Denis S. Novikov;**

address: 1 Pavshikh Bortsov sq., Volgograd, 400131, Russia;

ORCID: 0000-0002-2886-5431;

eLibrary SPIN: 4583-6672;

e-mail: dennov89@mail.ru

Natalia I. Latyshevskaya, MD, Dr. Sci. (Medicine), professor;

ORCID: 0000-0002-8367-745X;

eLibrary SPIN: 7299-4690;

e-mail: latyshnata@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author