

УДК 504.75.05:628.191
DOI: 10.7868/25000640230109

ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ, АССОЦИИРОВАННОГО С ПЕРОРАЛЬНЫМ ПОСТУПЛЕНИЕМ ЭКОТОКСИКАНТОВ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИВОЛЖСКОЙ ПЕСЧАНОЙ ГРЯДЫ

© 2023 г. Д.С. Новиков¹

Аннотация. Статья посвящена анализу канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью, обусловленных пероральным поступлением токсикантов и связанных с ними эндемичных экзависимых заболеваний. Заволжская часть Волгоградской области характеризуется осложненными литологическими условиями водопользования, подвержена антропогенной нагрузке. Зачастую подземные воды являются единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения в данном регионе. Анализ жесткости гидрокарбонатно-кальциевых вод выявил неоднородность пространственного распределения нестандартных проб на всей территории Приволжской песчаной гряды. По результатам исследований было зафиксировано присутствие в воде ряда кумулятивных токсикантов, обладающих локально-токсическим и канцерогенным эффектом. Наибольший неканцерогенный риск употребления подземных вод создают бор, железо и нитраты, наличие которых связано с природой водоносных горизонтов и нерациональным ведением сельского хозяйства. Основными критическими системами являются: пищеварительная, сердечно-сосудистая, репродуктивная, процессы эмбриогенеза. Присутствие тяжелых металлов, обусловленных антропогенным воздействием, способно вызывать аллергические реакции. Содержащиеся в подземных водах исследуемого региона канцерогены (тяжелые металлы, хлорфенольные соединения, гербициды) облагают опасным (для детей) и чрезвычайно опасным (для взрослых) уровнем потенциала развития онкологических стохастических эффектов при обнаружении их в концентрациях, значительно меньших, чем предельно допустимые. Безнапорная природа водоносных горизонтов Приволжской песчаной гряды, а также отсутствие зон санитарной защиты делает подземные воды уязвимыми к миграции экотоксикантов из прудов-испарителей и стоков с предприятий тяжелой промышленности и агрокомплексов. На основе полученных данных о наиболее опасных загрязнителях и их влиянии на здоровье населения возможно осуществление корректировки ряда профилактических мероприятий по предотвращению развития эндемичных для исследуемого региона экзависимых заболеваний.

Ключевые слова: канцерогенный и неканцерогенный риск, подземные воды, экотоксиканты, гидрогеохимия.

ASSESSMENT OF THE HEALTH RISK ASSOCIATED WITH THE ORAL INTAKE OF ECOTOXICANTS FROM GROUNDWATER IN THE VOLGA SAND RIDGE

D.S. Novikov¹

Abstract. One of the promising methods for assessing the hazard of developing environmentally related diseases is a risk-based approach to assessing the intake of ecotoxins in the human body. This approach allows identifying priority pollutants and creating predictive models of health effects. Complicated lithological conditions for water use and anthropogenic load are typical factors of health problems for population of the left-bank part of the Volgograd Region. An analysis of the hardness of hydrocarbonate-calcium waters revealed the heterogeneity of the spatial distribution of non-standard samples throughout the Volga sand ridge.

¹ Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения России (Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Volgograd, Russian Federation), Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, 1, e-mail: dennov89@mail.ru

According to the results of the studies, the presence in water of a number of cumulative toxicants with a locally toxic and carcinogenic effect was revealed. The greatest non-carcinogenic risk of groundwater use is caused by boron, iron and nitrates. The content of these substances in water is associated with the nature of aquifers and irrational farming. Presence of heavy metals due to anthropogenic effects can lead to development of symptoms of skin allergy. Main systems of organism which can be struck by ecotoxins are: digestive, cardiovascular, reproductive, processes of embryogenesis. The carcinogens (heavy metals, chlorophenol compounds, herbicides) contained in the underground waters of the studied region impose a dangerous (for children) and extremely dangerous (for adults) level of potential for the development of oncological stochastic effects when they are detected in concentrations significantly lower than the threshold limit value. The non-pressurized nature of the aquifers of the Volga sand ridge and the lack of sanitary protection zones make groundwater vulnerable to the migration of ecotoxins from evaporation ponds and industrial wastewater from heavy and agricultural industries. Based on the data obtained on the most dangerous pollutants and their impact on public health, it is possible to adjust a number of preventive measures to avoid the development of eco-dependent diseases endemic for the region under study.

Keywords: carcinogenic and non-carcinogenic risk, groundwater, ecotoxins, hydrogeochemistry.

ВВЕДЕНИЕ

Качество питьевой воды является одним из основополагающих критериев санитарного благополучия общества. Устоявшиеся в науке подходы, опирающиеся на анализ индивидуальных санитарно-гигиенических показателей и расчет комбинаторных индексов, зачастую не могут дать полной картины взаимосвязи развития экозависимых заболеваний населения и состояния окружающей среды. Содержащиеся в питьевой воде экотоксиканты способны вызывать общетоксические и канцерогенные эффекты, находясь в концентрациях, не превышающих предельно допустимые, при длительной экспозиции [1; 2]. В связи с этим современный подход, основанный на оценке канцерогенных и неканцерогенных рисков, видится наиболее перспективным в плане построения прогностической модели влияния химического состава питьевой воды на популяционное здоровье [3–5].

В аридизированной заволжской части Волгоградской области проблема обеспеченности населения доброкачественной питьевой водой стоит наиболее остро: 33 % населения не имеет доступа к централизованным водоисточникам, 40,7 % использует недоброкачественные подземные воды [6]. Значительная антропогенная нагрузка, отсутствие зон санитарной защиты, сильная природная минерализация подземных вод, неразработанность мероприятий по водоподготовке, а также полупустынная локализация делают актуальной комплексную оценку канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения, проживающего на территории наиболее густонаселенного гидрогеологического

района Заволжья Волгоградской области (левобережной части) – Приволжской песчаной гряды.

Исследуемая территория относится к Северо-Каспийскому артезианскому бассейну. Эксплуатируемый средне-верхнеплейстоценовый (хазаро-хвалынский) водоносный горизонт имеет безнапорный характер и подвержен антропогенному загрязнению. Основными источниками загрязнения подземных вод бассейна являются пруд-испаритель «Большой лиман», пруд-накопитель, пруд-испаритель промстоков ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», а также многочисленные промышленные и агрохозяйственные предприятия южного промузла Волгограда [7]. Данные предприятия являются постоянным фактором риска накопления в подземных водах региона широкого спектра экотоксикантов различной химической природы, характеризующихся свойством к накоплению и обладающих кумулятивным эффектом.

Цель работы – комплексная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков употребления недоброкачественной воды населением, постоянно проживающим на территории одного из гидрогеологических районов Заволжья Волгоградской области. Для достижения цели необходимо решить следующие исследовательские задачи:

- 1) проанализировать вклад основных антропогенных источников загрязнения подземных вод Приволжской подземной гряды, а также изучить особенности химического состава подземных вод и литологические факторы, определяющие состав приоритетных загрязнителей;

- 2) определить критические системы организма человека, подвергающиеся наиболее высоким ри-

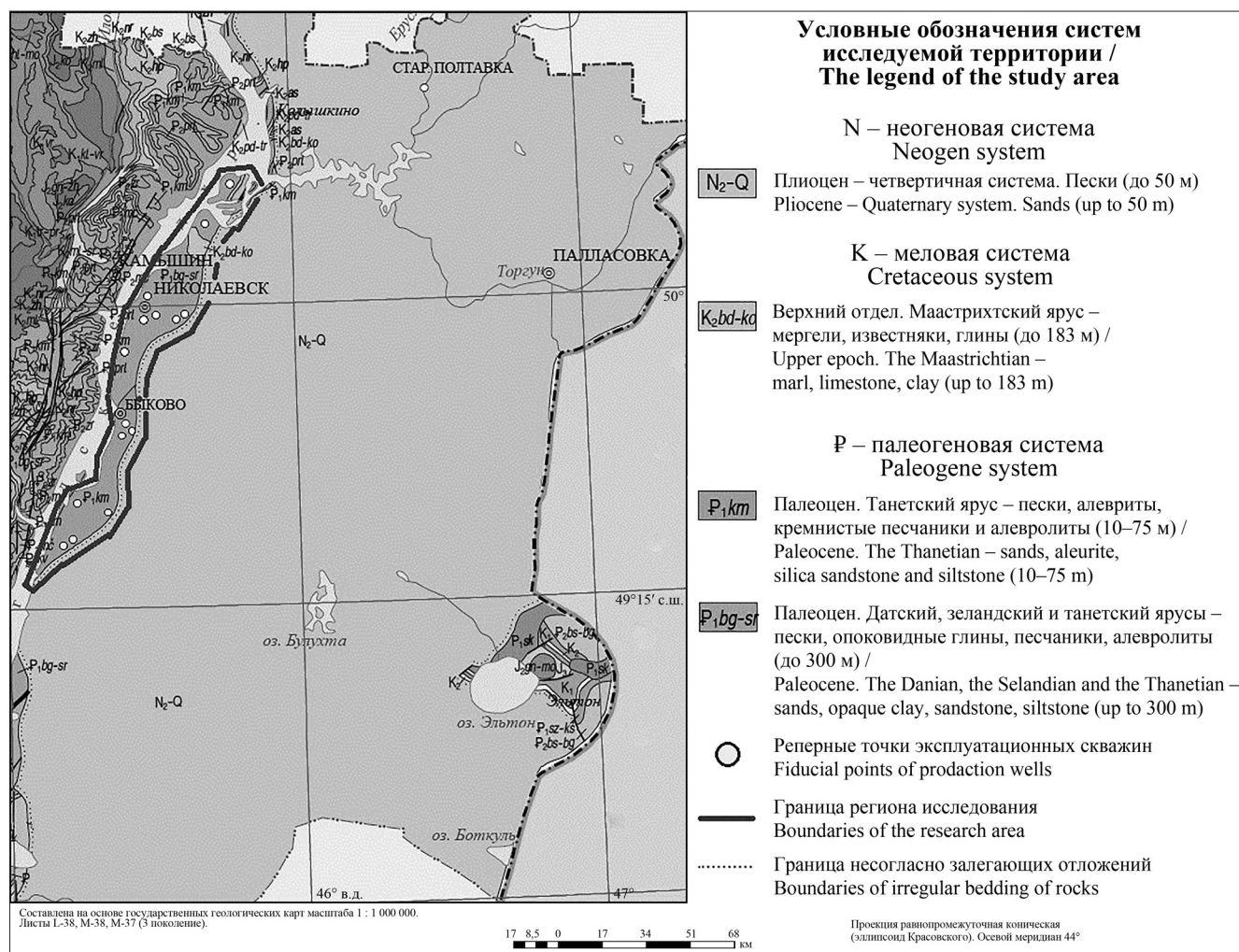


Рис. 1. Геологическая карта левобережной части Волгоградской области.
Fig. 1. Geological map of the left-bank part of the Volgograd Region.

скам развития неканцерогенных и канцерогенных эффектов для различных возрастных групп потребителей вод хозяйственно-питьевого назначения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – подземные воды Приволжской песчаной гряды, наиболее густонаселенного гидрогеологического района Заволжья. Информация о геологическом строении территории, занимаемой Заволжьем Волгоградской области, и о стратотипических разрезах основана на ГИС-пакетах оперативной геологической информации (ГИС-атлас «Недра России»), дата актуализации – 01.09.2021 [8] (рис. 1).

Для анализа были отобраны пробы из 22 скважин глубиной 20–25 м (первого водоносного горизонта) в гидрогеохимически стабильный для под-

земных вод Заволжья Волгоградской области позднелевосторонний период – май – сентябрь 2021 г. Время забора проб обусловлено безнапорным характером водоносных горизонтов исследуемого региона и его подверженности воздействию сезонных факторов (схода снегов и половодья). Содержащиеся в воде экотоксиканты были проанализированы с помощью стандартных спектрофотометрических, ионометрических, титриметрических и гравиметрических методик на базе аккредитованной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Волгоградской области» (номер аккредитации RA.RU.21BO03 от 07.08.2015 г.) по верхней границе 95%-го доверительного интервала (ДИ) концентраций. Использование значений ДИ обусловлено размером выборки и биологическим смыслом данного статистического параметра (наличием на исследуемой территории слабозащищенных от поверхностного загряз-

нения водоносных линз, содержащих поллютанты в концентрациях, значительно превышающих кларковые) [9]. В процедуре анализа риска использовали стандартные значения факторов пероральной экспозиции токсикантов для взрослых и детей (масса тела, величина водопотребления, частота воздействия, продолжительность действия, период осреднения). Доза поступающих веществ как для канцерогенного, так и для неканцерогенного риска была рассчитана по следующей формуле:

$$ADD = \frac{C_w \times V \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365},$$

где ADD – поступление с питьевой водой (мг/(кг × день)); C_w – концентрация вещества в воде (мг/л); V – величина водопотребления (л/сутки); EF – частота воздействия (дней/год); ED – продолжительность воздействия (лет); BW – масса тела (кг); AT – период осреднения экспозиции (лет).

На стадии оценки экспозиции отличия между процедурами анализа канцерогенных и неканцерогенных воздействий заключаются в величине фактора продолжительности воздействия: для канцерогенных рисков значение ED составляет 70 лет, для неканцерогенных – 30 лет.

Неканцерогенный риск здоровью (HQ) оценивали как отношение объемов поступления токсикантов в организм водопотребителей к референтной дозе – величине суточного воздействия химического вещества в течение всей жизни, которое не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья (RFD):

$$HQ = ADD \div RFD.$$

Канцерогенный риск (CI) был определен по формуле, учитывающей дозу (ADD) поступающего на протяжении 70 лет канцерогена и его фактор наклона (фактор канцерогенного потенциала SFo):

$$CI = ADD \times SFo.$$

Всего было оценено 24 показателя содержания в воде химических веществ, способных оказывать хронические общетоксические и канцерогенные эффекты на различные критические системы органов, с использованием методики, представленной в «Руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [10]. Согласно руководству в исследовании были приняты следующие градации индекса неканцерогенной опасности (HQ): менее 0,8 – риск допустимый (<0,5 – це-

левой риск), не вызывающий беспокойства; от 0,8 до 1,0 – риск предельно допустимый, вызывающий беспокойство; более 1 – риск опасный. Для оценки канцерогенных рисков использованы следующие диапазоны значения CI : равный или менее 1×10^{-6} (допустимый уровень; не вызывает беспокойства); более 1×10^{-6} , но менее 1×10^{-4} (риск, вызывающий беспокойство); более 1×10^{-4} , но менее 1×10^{-3} (опасный риск); равный или более 1×10^{-3} (чрезвычайно опасный, недопустимый риск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Территорию Прикаспийской синеклизы в завожской части Волгоградской области преимущественно занимают плиоценовые (N_2-Q) толщи четвертичной системы, представляющие собой песчаные слои толщиной до 50 м. Для прилегающей к левому берегу Волгоградского водохранилища Приволжской песчаной гряды типичны несогласно залегающие более древние палеоценовые отложения танетского, датского и зеланского ярусов. Гидрогеологический бассейн представлен преимущественно двумя свитами: Камышинской (P_{1km}) на юге (пески, алевроиты, опоковидные глины, опоки, кремнистые песчаники и алевролит) и Белогородне-Сызранской (P_{1bg-sr}) на севере (пески, опоки, опоковидные глины, песчаники, алевролиты) – и вскрывается скважинами. Водовмещающими являются мелко-разнозернистые пески, супеси и суглинки, слагающие нижнюю часть хазарско-хвалынского водоносного горизонта, водоупорный слой отсутствует. Водопроницаемость на территории Приволжской песчаной гряды достигает 500–1000 м²/сутки [11]. Формула Курлова для подземных вод стратотипического разреза хазарско-хвалынского горизонта в районе исследования имеет следующий вид:

$$M_{1,8} \frac{84HCO_3 45SO_4 25Cl}{Ca68Mg55(Na+K)31} pH7,5.$$

Воды соленые, гидрокарбонатно-кальциевые (по А.О. Алекину [12]), со средним значением общей жесткости 7,9 мг-экв/л (расчет по ионному составу приведенной псевдодроби). Вода с высоким содержанием солей жесткости вносит дисбаланс в водно-солевой обмен, является одним из факторов риска развития мочекаменной болезни, обладает непривлекательными для потребителя органолептическими свойствами [13–15]. Вместе с

Таблица 1. Показатели индивидуального и суммарного неканцерогенного риска обнаруженных токсикантов при пероральной экспозиции**Table 1.** Indicators of individual and overall non-carcinogenic risk of toxicants detected by oral exposure

Химические вещества / Name of substance	Концентрация по верхней границе 95% ДИ, мг/л / Concentration at the upper limit of the 95% CI, mg/l	ПДК, мг/л TLV, mg/l	Критические системы организма / Critical body systems	Референтная доза RFD, мг/кг / Reference dose RFD, mg/kg	Коэффициент неканцерогенной опасности <i>HQ</i> / Non-carcinogenic hazard coefficient <i>HQ</i>	
					Взрослые Adults	Дети Children
Алюминий Aluminum	0,02	0,2	ЦНС CNS	1	5,48 E-4	13,33 E-4
Аммиак Ammonia	0,05	1,5	органы дыхания respiratory system	0,98	1,5 E-3	3,4 E-3
Барий Barium	0,1	0,7	почки, сердечно-сосудистая система / kidneys, cardiovascular system	0,07	0,04	0,09
Бериллий Beryllium	0,0001	0,0002	ЖКТ GI tract	0,002	1,42 E-3	3,33 E-3
Бор Boron	1,5	0,5	репродуктивная система, ЖКТ / reproductive system, GI tract	0,02	2,14	5,00
Железо Iron	2,8	0,3	слизистые, кожа, кровь mucous, skin, blood	0,3	0,26	0,62
Кадмий Cadmium	0,001	0,0005	почки, гормоны kidneys, hormones	0,0005	0,05	0,13
Медь Copper	0,001	1	ЖКТ, печень GI tract, liver	0,019	1,50 E-3	3,50 E-3
Молибден Molybdenum	0,001	0,07	почки kidneys	0,012	2,38 E-3	5,55 E-3
Мышьяк Arsenic	0,002	0,01	кожа, ЦНС, ЖКТ / skin, CNS, GI tract	0,0003	0,19	0,44
Никель Nickel	0,013	0,02	печень, ЖКТ, сердечно-сосудистая система / liver, GI tract, cardiovascular system	0,02	0,02	0,04
Нитраты Nitrates	11,98	45	кровь (MetHb) сердечно-сосудистая система / blood, cardiovascular system	1,6	0,27	0,58
Ртуть Mercury	0,00005	0,0005	почки, ЦНС гормоны / kidneys, CNS, hormones	0,0003	4,74 E-3	11,11 E-3
Свинец Lead	0,0001	0,01	ЦНС, кровь, репродуктивная система / CNS, blood, reproductive system	0,0035	8,16 E-4	19,04 E-4
Селен Selenium	0,0007	0,01	кожа, печень skin, liver	0,005	4 E-3	9,33 E-4

Окончание табл. 1

Химические вещества / Name of substance	Концентрация по верхней границе 95% ДИ, мг/л / Concentration at the upper limit of the 95% CI, mg/l	ПДК, мг/л TLV, mg/l	Критические системы организма / Critical body systems	Референтная доза RFD, мг/кг / Reference dose RFD, mg/kg	Коэффициент неканцерогенной опасности HQ / Non-carcinogenic hazard coefficient HQ	
					Взрослые Adults	Дети Children
Стронций Strontium	0,43	7	кости bones	0,6	0,02	0,05
Фенолы Phenols	0,0005	0,1	органы дыхания respiratory system	0,3	4,7 E-4	11,10 E-4
Цианиды Cyanides	0,01	0,07	нервная система, гормоны / nervous system, hormones	0,02	1,42 E-3	33,33 E-3
Цинк Zinc	0,0005	1	кровь blood	0,3	4,7 E-4	11,10 E-4
Суммарный неканцерогенный риск HI Cumulative non-carcinogenic risk HI (per os)					2,85	6,62

этим результаты исследования выявили значительную дисперсию по показателю общей жесткости в исследуемом регионе ($\sigma_{\text{общ. жестк.}} = 2,4$ мг-экв/л). Анализ результатов социально-гигиенического мониторинга, представленных в ежегодных отчетах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Волгоградской области», также обнаружил существенный разброс количества нестандартных проб в диапазоне 9,1–90,2 % (пределы превышения: 1,1–5,0 ПДК) в различных реперных точках Быковского района. Аналогичный показатель для Николаевского района, также расположенного в зоне залегания Приволжской песчаной гряды, составил 8,3–91,6 % проб со значениями общей жесткости от 1,1 до >5,1 ПДК. Данный феномен объясняется залеганием ряда пресноводных линз на территории Приволжской песчаной гряды (широта с. Катричев – с. Луговая Пролейка) на фоне общего высокоминерализованного характера заволжских рассолов [16].

Содержание обнаруженных в образцах подземных вод химических веществ, а также рассчитанные неканцерогенные риски при пероральном (RFD) поступлении экотоксикантов представлены в таблице 1.

Комплексный анализ рисков (HQ) выявил значительную роль превышенных концентраций бора в формировании общей картины развития хронической интоксикации как для взрослого насе-

ления (усредненный период экспозиции – 30 лет; $HQ = 5,00$), так и для детей (усредненный период экспозиции – 6 лет; $HQ = 2,14$). Также отмечены допустимые индивидуальные уровни риска, ассоциированные с содержанием общего железа для взрослых/детей ($HQ = 0,26/0,62$) и нитратов ($HQ = 0,27/0,48$). Учитывая высокие содержания бора и солей железа в глинистых породах, можно сделать вывод о том, что и литологические факторы оказывают значительное влияние на превышение концентрации данных элементов в подземных водах. В отдельных пробах отмечалось превышение ПДК содержания алюминия, кадмия, бария, никеля и цинка, однако рассчитанные индивидуальные риски хронической интоксикации при пероральном поступлении данными веществами являются «целевыми», не вызывающими беспокойства. Стоит отметить возможность развития аллергических реакций, вызванных сочетанным действием комплекса металлов [17; 18]. Концентрации бериллия, меди, молибдена, тяжелых металлов и селена находились на обычных природных уровнях (табл. 1).

Суммарный неканцерогенный риск (HI) обнаруженных в воде системо- и органотропных экотоксикантов с их распределением по критическим системам показывает значительное превышение предельно допустимых порогов по репродуктивной (2,20/5,20) и пищеварительной системам (2,23/5,27),

а также по процессам эмбриогенеза (2,14/5,00). Данное обстоятельство объясняется эмбриотоксическим эффектом бора, а также развитием выраженных расстройств половой сферы (семенники) при длительном употреблении боризбыточных вод. Помимо этого, длительное (превышение риска отмечено именно при 30-летней усредненной экспозиции) употребление бора способно вызывать широкий спектр желудочно-кишечных расстройств, в том числе борный энтерит. В меньшей степени бор способствует развитию нарушений обменных процессов, заболеваний ЦНС и почек [19; 20]. Опасный уровень риска развития хронических эффектов по сердечно-сосудистой системе для детей (1,28) связан с комбинированным действием нитратов (метгемоглобинообразование, а также действие конечного продукта преобразования нитратов в организме человека – нитрозоаминов), железа, бария и никеля. Значительный уровень риска, обусловленный употреблением нитратов, связан преимущественно с нерациональной утилизацией отходов агропро-

мышленных комплексов и интенсивным ведением сельского хозяйства при общем недостатке зон санитарной защиты [21].

В воде, потребляемой населением Приволжской песчаной гряды, обнаружен ряд веществ, обладающих канцерогенным потенциалом: бериллий, кадмий, мышьяк, свинец, хлорфенолы, хром(VI), 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота, гексахлоран, 2,2-бис(п-хлорфенил)-1,1-дихлорэтилен (табл. 2) [22]. Оценка индивидуального пожизненного канцерогенного воздействия производилась с использованием усредненной экспозиции, равной 70 годам.

Индивидуальный риск в течение всей жизни более 1 E-4, но менее 1 E-3 приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом, требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий (опасный риск). Риск, равный или более 1 E-3, неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп, требует экстренной профилактики (чрезвычайно опас-

Таблица 2. Показатели индивидуального и суммарного канцерогенного риска при пероральной экспозиции
Table 2. Indicators of individual and total carcinogenic risk by oral exposure

Химические вещества Name of substance	Концентрация по верхней границе 95% ДИ, мг/л / Concentration at the upper limit of the 95% CI, mg/l	Фактор канцерогенного потенциала <i>SFo</i> пероральный / Carcinogenic potential factor (oral) <i>SFo</i>	Канцерогенный риск <i>CR</i> Carcinogenic risk <i>CR</i>	
			Взрослые Adults	Дети Children
Бериллий Beryllium	0,0001	4,3	2,73 E-7	5,48 E-7
Кадмий Cadmium	0,001	0,38	3,09 E-5	1,44 E-5
Мышьяк Arsenic	0,002	1,5	1,56 E-5	7,21 E-6
Свинец Lead	0,0001	0,047	2,49 E-5	1,16 E-5
Хлорфенолы Chlorophenols	0,0005	0,12	4,89 E-5	2,28 E-5
Хром(VI) Chrome(VI)	0,03	0,42	8,38 E-4	3,91 E-4
2,4-Д кислота 2,4-D acid	0,0002	0,019	1,23 E-4	5,76 E-5
Гексахлоран Hexachloran	0,0003	1,8	1,96 E-6	9,13 E-7
2,2-бис(п-хлорфенил)- 1,1-дихлорэтилен 2,2-bis(p-chlorophenyl)- 1,1-dichloroethylene	0,0001	0,34	3,45 E-6	1,61 E-6
Суммарный канцерогенный потенциал <i>CI</i> Cumulative carcinogenic potential <i>CI</i>			1,08 E-3	5,07 E-4

ный, недопустимый риск). Суммарный канцерогенный потенциал (CI) для детского населения оказался на уровне опасных диапазонов ($5,07 \text{ E-}4$), для взрослых показатель CI составил $1,08 \text{ E-}3$, что характеризуется чрезвычайно опасным потенциалом развития канцерогенных эффектов. Необходимо отметить, что все вещества были обнаружены в воде в концентрациях, значительно уступающих предельно допустимым значениям, установленным Государственной системой санитарно-эпидемиологического нормирования РФ. В общей структуре риска для взрослых наиболее значимым веществом является хром (77,59 %) и 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (11,38 %). Для детей помимо хрома (77,12 %) значимый вклад в формирование канцерогенного риска вносят кадмий (2,84 %), свинец (2,29 %) и хлорфенольные соединения (4,50 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольший неканцерогенный риск употребления подземных вод создают бор, железо и нитраты. Основными критическими системами являются: пищеварительная, сердечно-сосудистая, репродуктивная, процессы эмбриогенеза. Комбинаторное действие содержащихся в воде металлов способ-

но вызывать аллергические реакции. Превышение предельно допустимых концентраций веществ, способных формировать опасный риск неканцерогенных воздействий, носит природный литологический и антропогенный характер, связанный с нерациональным ведением сельского хозяйства. Превышение ПДК по общей жесткости подземных вод, типичных для Приволжской песчаной гряды ($7,9 \pm 2,4 \text{ мг-экв/л}$) носит мозаичный характер на всей исследуемой территории.

Содержащиеся в подземных водах исследуемого региона канцерогены обладают опасным (для детей) и чрезвычайно опасным (для взрослых) уровнем потенциала развития онкологических стохастических эффектов при обнаружении их в концентрациях значительно меньших, чем предельно допустимые. Появление в воде веществ (тяжелых металлов и гербицидов), формирующих канцерогенную опасность, обусловлено наличием антропогенной нагрузки на подземные воды со стороны агрокомплексов, прудов-испарителей и тяжелой промышленности в районе Волгоградского водохранилища. Безнапорная природа водоносных горизонтов и отсутствие зон санитарной защиты делает подземные воды уязвимыми к миграции экотоксикантов из поверхностных промстоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. 2015. Гигиеническое обоснование оптимизации интегральной оценки питьевой воды по индексу качества воды. *Гигиена и санитария*. 94(5): 5–10.
2. Тулакин А.В., Плитман С.И., Амплеева Г.П., Пивнева О.С. 2018. Риск-ориентированный надзор, как основа обеспечения безопасности питьевой воды: проблемы и возможности. *Прикладные информационные аспекты медицины*. 21(3): 28–31.
3. Новиков С.М., Фокин М.В., Унгурану Т.Н. 2016. Актуальные вопросы методологии и развития доказательной оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 95(8): 711–716. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716
4. Онищенко Г.Г. 2013. Оценка и управление внешними рисками для здоровья как эффективный инструмент решения задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации. *Анализ риска здоровью*. 1: 4–14. doi: 10.21668/health.risk/2013.1.01
5. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.Л., Ярушин С.В. 2017. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. *Гигиена и санитария*. 96(12): 1125–1129. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
6. Попова С.А., Колпакова Е.А. 2018. Интегральная оценка социально-экономического развития сельских территорий Волгоградской области. В кн.: *Российская экономическая модель-8: будущее в условиях кризиса глобализации*. Краснодар, ФГБУ «Российское энергетическое агентство»: 370–382.
7. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2021 году. 2022. Волгоград, ТЕМПОРА: 300 с.
8. Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации (ГИС-атлас «Недра России»). URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab43721ef8d6981f7> (дата обращения: 27.10.2022).
9. Абубекеров М.К., Гостев Н.Ю. 2014. Вероятностная связь между оценками ошибок, полученных разными способами для значений физических величин. *Вычислительные методы и программирование*. 15(4): 677–684.
10. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. 2004. М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России: 143 с.
11. Застрожных С.И., Застрожных О.И. 2009. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Восточно-Европейская. Лист М-38 – Волгоград. Объяснительная записка. СПб., Картофабрика ВСЕГЕИ: 399 с.
12. Алекин О.А. 1953. Основы гидрогеохимии. Л., Гидрометеиздат: 296 с.
13. Cotruvo J.A., Costello R., Weglicki W.B. 2017. Magnesium, hard water, and health. *Journal AWWA*. 109(11): 62–68. doi: 10.5942/jawwa.2017.109.0146

14. Leurs L.J., Schouten L.J., Mons M.N., Goldbohm R.A., van den Brandt P.A. 2010. Relationship between tap water hardness, magnesium, and calcium concentration and mortality due to ischemic heart disease or stroke in the Netherlands. *Environmental Health Perspectives*. 118(3): 414–420. doi: 10.1289/ehp.0900782
15. Канатникова Н.В., Егорова Н.А. 2017. Влияние жесткости питьевой воды на заболеваемость населения г. Орла. *Гигиена и санитария*. 96(3): 235–240. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-235-240
16. Абрамкин А.В. 2016. К вопросу о биогеохимических провинциях и гигиенической оценке качества питьевой воды. *Sciences of Europe*. 8(8): 18–22.
17. Prüss-Ustün A., Wolf J., Corvalán C., Neville T., Bos R., Neira M. 2017. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health*. 39(3): 464–475. doi: 10.1093/pubmed/fdw085
18. Langan S.M. 2009. Flares in childhood eczema. *Skin Therapy Letter*. 14(8): 14–27.
19. Закутин В.П., Вавичкин А.Ю. 2010. Основные особенности геохимии бора в пресных подземных водах. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 1: 30–39.
20. Клейн С.В., Вековщина С.А. 2020. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 3: 49–60. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.06
21. Беляев Е.Н., Домнин С.Г., Митин А.В., Корсак М.Н. 2002. *Питьевая вода и здоровье населения. Вып. 1. Влияние химического состава воды на здоровье населения*. М., Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России: 63 с.
22. Carpenter D.O., Bushkin-Bedient Sh. 2013. Exposure to chemicals and radiation during childhood and risk for cancer later in life. *J. Adolesc. Health*. 52(5): S21–S29. doi: 10.1016/j.jadohealth.2013.01.027
23. Krasovskiy G.N., Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A. 2015. [Hygienic justification of optimization of the integrated assessment of drinking water according to the water quality index]. *Gigiena i sanitariya*. 94(5): 5–10. (In Russian).
24. Tulakin A.V., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Pivneva O.S. 2018. [The risk-oriented supervision of drinking water: problems and possibilities]. *Prikladnye informatsionnye aspekty meditsiny*. 21(3): 28–31. (In Russian).
25. Novikov S.M., Fokin M.V., Unguryanu T.N. 2016. [Actual problem of methodology and development of evidence-based health risk assessment associated with chemical exposure]. *Hygiene & Sanitation*. 95(8): 711–716. (In Russian). doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716
26. Onischenko G.G. 2013. [Health risk assessment and management as an effective tool to solve issues to ensure the health and epidemiological well-being of the Russian Federation population]. *Health Risk Analysis*. 1: 4–14. (In Russian). doi: 10.21668/health.risk/2013.1.01
27. Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. 2017. [Modern issues of the health risk assessment and management]. *Hygiene & Sanitation*. 96(12): 1125–1129. (In Russian). doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
28. Popova S.A., Kolpakova E.A. 2018. [Integral assessment of socio-economic development of rural territories of the Volgograd Region]. In: *Rossiyskaya ekonomicheskaya model'-8: budushchee v usloviyakh krizisa globalizatsii. [Russian economic model-8: the future in the context of the crisis of globalization]*. Krasnodar, Federal Energy Agency of the Energy Ministry of the Russian Federation: 370–382. (In Russian).
29. *Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2021 godu. [Report on the state of the environment in the Volgograd Region in 2021]*. 2022. Volgograd, TEMPORA: 300 p. (In Russian).
30. *Aktualizirovannye GIS-pakety operativnoy geologicheskoy informatsii (GIS-atlas "Nedra Rossii")*. Available at: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab43721ef8d6981f7> (accessed 27 October 2022).
31. Abubekurov M.K., Gostev N.Yu. 2014. [A probabilistic relationship between the error estimates of Physical quantities obtained by different methods]. *Vychislitel'nye metody i programmirovaniye*. 4(15): 677–684. (In Russian).
32. *Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu. [Human health risk assessment from environmental chemicals]*. 2004. Moscow, Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia: 143 p. (In Russian).
33. Zastrozhnov S.I., Zastrozhnova O.I. 2009. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Vostochno-Evropeyskaya. List M-38 – Volgograd. Ob'yasnitel'naya zapiska. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Series East European. Sheet M-38 – Volgograd. Explanatory letter]*. St Petersburg, Card Factory of Russian Geological Research Institute: 399 p. (In Russian).
34. Alekin O.A. 1953. *Osnovy gidrogeokhimii. [Fundamentals of hydrogeochemistry]*. Leningrad, Gidrometeoizdat: 296 p. (In Russian).
35. Cotruvo J.A., Costello R., Weglicki W.B. 2017. Magnesium, hard water, and health. *Journal AWWA*. 109(11): 62–68. doi: 10.5942/jawwa.2017.109.0146
36. Leurs L.J., Schouten L.J., Mons M.N., Goldbohm R.A., van den Brandt P.A. 2010. Relationship between tap water hardness, magnesium, and calcium concentration and mortality due to ischemic heart disease or stroke in the Netherlands. *Environmental Health Perspectives*. 118(3): 414–420. doi: 10.1289/ehp.0900782
37. Kanatnikova N.V., Egorova N.A. 2017. [The impact of the drinking water hardness on the morbidity rate of the population of the city of Orel]. *Hygiene & Sanitation*. 96(3): 235–240. (In Russian). doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-235-240
38. Abramkin A.V. 2016. [The question of biogeochemical provinces and hygienic drinking water quality assessment]. *Sciences of Europe*. 8(8): 18–22. (In Russian).
39. Prüss-Ustün A., Wolf J., Corvalán C., Neville T., Bos R., Neira M. 2017. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health*. 39(3): 464–475. doi: 10.1093/pubmed/fdw085

REFERENCES

18. Langan S.M. 2009. Flares in childhood eczema. *Skin Therapy Letter*. 14(8): 14–27.
19. Zakutin V.P., Vavichkin A.Yu. 2010. [The main features of boron geochemistry in fresh groundwater]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 1: 30–39. (In Russian).
20. Kleyn S.V., Vekovshinina S.A. 2020. [Priority risk factors related to drinking water from centralized water supply system that create negative trends in population health]. *Health Risk Analysis*. 3: 49–60. (In Russian). doi: 10.21668/health.risk/2020.3.06
21. Belyaev E.N., Domnin S.G., Mitin A.V., Korsak M.N. 2002. *Pit'evaya voda i zdorov'e naseleniya. Vyp. 1. Vliyanie khimicheskogo sostava vody na zdorov'e naseleniya. [Drinking water and public health. Vol. 1. The effect of the chemical composition of water on public health]*. Moscow, Federal Center for Sanitary Inspection of the Ministry of Health of Russia: 63 p. (In Russian).
22. Carpenter D.O., Bushkin-Bedient Sh. 2013. Exposure to chemicals and radiation during childhood and risk for cancer later in life. *J. Adolesc. Health*. 52(5): S21–S29. doi: 10.1016/j.jadohealth.2013.01.027

Поступила 14.09.2022