

Косарев А.В.<sup>1</sup>, Иванов Д.Е.<sup>1,2</sup>, Микеров А.Н.<sup>1,3</sup>, Савина К.А.<sup>1</sup>

## Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью, обусловленных качеством питьевой воды родников аридной зоны

<sup>1</sup>Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 410022, Саратов;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия», 410056, Саратов;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского», 410012, Саратов

**Введение.** Описаны химические факторы, влияющие на возникновение канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью при употреблении питьевой воды в засушливых регионах России и мира.

**Материал и методы.** Объекты исследования – вода родников, расположенных в черте г. Саратова. Содержание загрязнений в родниковой воде определяли методами атомно-абсорбционной спектрометрии, спектрофотометрии, потенциометрии. Санитарно-гигиеническую безопасность родниковой воды оценивали с помощью расчёта канцерогенного и неканцерогенного риска, уровня опасности и суммарного уровня опасности.

**Результаты.** Приведены данные расчёта суммарного индекса опасности, а также ранжирование этой величины в отношении органов и тканей. Установлено, что неприемлемый уровень неканцерогенного риска ( $HI > 1$ ) относится к развитию патологий сердечно-сосудистой системы и печени, а также желудочно-кишечного тракта, почек, кожного покрова, эндокринной системы. Наибольший вклад в формирование неканцерогенной опасности родниковой воды из исследованных источников играют нитраты, канцерогенный риск обусловлен преимущественно присутствием в воде ионов никеля.

**Обсуждение.** Превышение уровня приемлемого риска здоровью для воды родников, находящихся на возвышенностях, обусловлено преимущественно процессами гниения растительного вещества, сельскохозяйственной деятельностью, а также обменными процессами между водой и подстилающим водоносным горизонтом. Наибольшая частота и величина превышений неканцерогенных санитарно-химических показателей чаще всего характерны для родников, находящихся на наибольшем перепаде высот, а также для источников, расположенных в зоне активной сельскохозяйственной деятельности. Канцерогенный эффект обусловлен преимущественно ионами никеля  $Ni^{2+}$ , при этом наибольшая величина суммарного канцерогенного риска соответствует родникам, расположенным на склонах неподалёку от автострад.

**Выводы.** Отмечается, что наибольший вклад в опасность неканцерогенного воздействия при употреблении питьевой воды из изученных родников имеют нитраты, никель, кадмий и железо, канцерогенный эффект обусловлен присутствием никеля. Токсическое неканцерогенное действие воды направлено преимущественно на сердечно-сосудистую систему и печень. Вероятность неканцерогенного и канцерогенного эффектов, обусловленных употреблением воды из исследованных родников, снижается с возращением высоты источника над уровнем моря. Влияние аридного климата на распределение канцерогенного и неканцерогенного рисков в родниковой воде г. Саратова может объясняться обменными процессами с подстилающим водоносным горизонтом карбонатных пород, а также жизнедеятельностью железовосстанавливающих бактерий в период паводков и дождей.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** мониторинг; родники; комплексная оценка; канцерогенный; неканцерогенный; риск; тяжёлые металлы; нитраты; нитриты

**Для цитирования:** Косарев А.В., Иванов Д.Е., Микеров А.Н., Савина К.А. Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью, обусловленных качеством питьевой воды родников. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (11): 1294-1300. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1294-1300>

**Для корреспонденции:** Косарев Антон Валериевич, канд. хим. наук, доцент, науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского медицинского научного центра гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 410022, Саратов. E-mail: aleteia@inbox.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Косарев А.В. – концепция и дизайн исследования, вычислительная работа, написание текста статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Микеров А.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Иванов Д.Е. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи; Савина К.А. – экспериментальная работа, сбор и обработка материала, редактирование.

Поступила 15.07.2020

Принята к печати 05.11.2020

Опубликована 22.12.2020

Anton V. Kosarev<sup>1</sup>, Dmitriy E. Ivanov<sup>1,2</sup>, Anatoliy N. Mikerov<sup>1,3</sup>, Kseniya A. Savina<sup>1</sup>

## Evaluation of a carcinogenic and non-carcinogenic health risks due to the quality of drinking water by springs in the arid zone

<sup>1</sup>Saratov Hygiene Medical Research Center of the FSC Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation;

<sup>2</sup>Saratov State Law Academy, 410056, Saratov, Russian Federation;

<sup>3</sup>Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, Saratov, 410012, Russian Federation

**Introduction.** Chemical factors affect the emergence of carcinogenic and non-carcinogenic health risks when drinking water consumed in the arid regions of Russia and the world.

**Material and methods.** The objects of the study are samples of water springs located in the city of Saratov. Methods of atomic-absorption spectrometry, spectrophotometry, and potentiometry were used to determine contaminants' content in water of springs. The health and hygiene safety of spring water was assessed by calculating carcinogenic and non-carcinogenic risk, hazard level, and total hazard level.

**Results.** The unacceptable level of non-carcinogenic risk ( $HI > 1$ ) was established to refer to the development of pathologies of the cardiovascular system and liver and the gastrointestinal tract, kidneys, skin, endocrine system. Nitrates are the greatest contributor to the formation of non-carcinogenic hazards of spring water from the sources studied.

**Discussion.** The processes of rotting plant matter, agricultural activities, and exchange between water and underlying aquifer caused the exceeding of the admissible health risk of water springs located at higher elevations was mainly due to. The highest frequency and magnitude of excess non-carcinogenic sanitary and chemical indices are most often characteristic of springs at the highest elevations or located in the zone of active agricultural activity. The  $Ni^{2+}$  ion, with the highest amount of the total carcinogenic risk caused the carcinogenic effect mainly. It corresponds to springs located on the slopes near the freeways.

**Conclusion.** Nitrates, nickel, cadmium, and iron, made the most significant contribution to the risk of non-carcinogenic exposure in drinking water from the studied springs have. The presence of nickel had a more pronounced carcinogenic effect. Toxic non-carcinogenic water action is directed mainly at the cardiovascular system and liver. The use of water from the springs studied decreases with the increase in the height of the source above sea level caused the probability of non-carcinogenic and carcinogenic effects. The exchange processes with the underlying aquifer of carbonate rocks, as well as the life of iron-healing bacteria during floods and rains, can explain the effect of the arid climate on the distribution of carcinogenic and non-carcinogenic risks in the spring water of Saratov.

**Keywords:** monitoring; springs; integrated assessment; carcinogenic; non-carcinogenic; risk; heavy metals; nitrates; nitrites

**For citation:** Kosarev A.V., Ivanov D.E., Mikerov A.N., Savina K.A. Evaluation of a carcinogenic and non-carcinogenic health risks due to the quality of drinking water by springs in the arid area. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (11): 1294-1300. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1294-1300> (In Russ.)

**For correspondence:** Anton V. Kosarev, MD, Ph.D., docent, researcher of Laboratory of Chemical-Biological Monitoring of Water Quality of the Saratov Medical Scientific Centre of Hygiene of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation. E-mail: [aleteia@inbox.ru](mailto:aleteia@inbox.ru)

### Information about the authors:

Kosarev A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6614-7297>; Mikerov A.N., <https://orcid.org/0000-0002-0670-7918>

Ivanov D.E., <https://orcid.org/0000-0001-8162-9019>; Savina K.A., <https://orcid.org/0000-0003-4878-8784>

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no funding.

**Contribution:** Kosarev A.V. – the concept and design of the study, computational work, writing the text of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Mikerov A.N. – the concept and design of the study, editing, discussion of the results, approval of the final version; Ivanov D.E. – The concept and design of the study, discussion of the results, responsibility for the integrity of all parts of the article; Savina K.A. – experimental work, collection and processing of material, editing.

Received: July 15, 2020

Accepted: November 05, 2020

Published: December 22, 2020

## Введение

Задача оценки санитарно-гигиенической безопасности источников нецентрализованного водоснабжения аридных зон является в настоящее время одной из актуальных тем. Это связано, с одной стороны, с тенденциями усиления степени аридности регионов России, а с другой – с проблемой загрязнения её химическими соединениями, создающими неблагоприятный токсикохимический фон. Практически всё взрослое и детское население территорий промышленных городов подвержено риску здоровья от употребления воды за счёт присутствия в ней компонентов канцерогенного и неканцерогенного воздействия [1]. По данным Росстата на 2018 г., вклады в общую смертность взрослого и детского населения Российской Федерации составляют: от сердечно-сосудистых заболеваний – 46,8 и 2%, от заболеваний органов дыхания – 3,4 и 4,8%, от заболеваний пищеварительной системы – 5,2 и 0,9%, от злокачественных новообразований –

16,1 и 5,5% соответственно [2]. По данным ВОЗ за этот период, аналогичные вклады в общую смертность взрослого населения в мире составляют: от сердечно-сосудистых заболеваний – 31%, от заболеваний органов дыхания – 6,6%, от заболеваний пищеварительной системы – 7,1%, от злокачественных новообразований – 16,6% [3].

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из приоритетных задач Российской Федерации. При этом решается задача повышения эффективности технологий водоподготовки на основе подхода оценки интегрального риска здоровью при употреблении водопроводной воды и его минимизации [4], внедрённого, например, в Ленинградской области [5]. Одним из приоритетных загрязнений, обуславливающим неканцерогенные риски воды источников нецентрализованного водоснабжения, являются нитраты и мышьяк [6], а в источниках централизованного водоснабжения промышленных городов – хлориды, сульфаты, а также тяжёлые металлы [7]. Заболеваемость населения, вызванная

употреблением питьевой воды, обусловленная природными и техногенными факторами, создаёт необходимость оценки санитарно-гигиенических рисков и разработки основанных на них методик водоподготовки [8, 9]. Отмечается влияние загрязнений воды свинцом на смертность, обусловленную сердечно-сосудистыми заболеваниями, в Великобритании и Норвегии [10]. Показано, что употребление питьевой воды аридной зоны Оренбуржья из централизованных источников водоснабжения детьми и подростками может приводить к патологическим изменениям со стороны гормональной, сердечно-сосудистой, центральной нервной систем, а также заболеваниям крови и почек [11]. Питьевая вода северо-востока Удмуртской области имеет высокие значения неканцерогенного риска по бору, что обуславливает заболевания мочеполовой системы и органов пищеварения [12].

Питьевая вода г. Уфы характеризуется повышенным канцерогенным риском, обусловленным присутствием хрома, мышьяка, галогеналкилов и галогенированных фенолов, а также продуктов хлорирования воды на станциях водоочистки [13]. Наибольший вклад в индекс опасности от употребления родниковой воды Челябинской области вносят нитраты, мышьяк, никель, кадмий и цинк, обуславливающие патологию сердечно-сосудистой, пищеварительной, эндокринной, выделительной систем. При этом вклады марганца и железа незначительны [14].

Питьевая вода является средой, аккумулирующей канцерогены, вносящей наибольший вклад по сравнению с пищевыми продуктами и воздухом в формирование канцерогенных рисков. Общая величина интегрального риска загрязнения питьевой воды в городской среде одной из иранских провинций определяется тяжёлыми металлами (свинец, медь, железо), а также мышьяком [15]. Установлено [16], что в условиях совместного поступления с водой в организм хрома, марганца, железа, цинка и фтора меньший вклад в токсичность воды вносят марганец, хром и цинк, а железо и фтор, наоборот, вносят значительный вклад в токсичность. Коэффициенты опасности для мышьяка и тяжёлых металлов (Pb, Cr, Ni, Hg) находятся в пределах уровня безопасности для взрослых, но могут быть опасны для детей [17].

В паводковый и дождевой периоды активизируется деятельность железовосстанавливающих бактерий, что способствует формированию в родниковой воде аккумуляций комплексных соединений железа с гуминовыми и фульвокислотами, а также сопутствующим присутствием марганца [18]. Основными элементами, влияющими на формирование канцерогенных и неканцерогенных рисков при обеспечении питьевой водой, являются: Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Ba, Cr и As [19].

Совокупный анализ риска от воздействия загрязняющих веществ в питьевой воде в США за период 2010–2017 гг. показывает, что величина канцерогенного риска составляет примерно  $4 \cdot 10^4$ , что на два порядка выше безопасного уровня. Большая часть этого риска обусловлена наличием мышьяка и побочных продуктов дезинфекции [20]. При этом отмечается перспективность разработки подхода, основанного на оценке риска и на выделении нескольких приоритетных веществ, отвечающих за формирование канцерогенного и неканцерогенного эффектов для проблемы лечения раковых и нераковых заболеваний, связанных с питьевой водой [21]. Питьевая вода из подземных источников Кении загрязнена мышьяком и тяжёлыми металлами (Cd, Ni, Pb) в объёме, превышающем ПДК от 6 до 60 раз. При этом индекс опасности превышает норматив на два порядка, а величина канцерогенного риска — на пять порядков среди всех возрастных слоёв населения [22].

Саратов располагается в зоне средней аридности. В исследовании проблемы водообеспечения засушливых территорий с помощью источников нецентрализованного водоснабжения представляет интерес комплексная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков родниковой воды с определением загрязнений, вносящих наибольший вклад в формирование рисков здоровью, и определение ор-

ганов и тканей, на которые направлено токсическое воздействие загрязнений.

Целью данной работы являлось определение уровня санитарно-гигиенической безопасности родников г. Саратова как представителя аридного региона путём оценки канцерогенных и неканцерогенных рисков загрязнения воды веществами:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Fe, Mn, Al, As,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , Cr,  $\text{Pb}^{2+}$ .

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определение индексов токсикологической опасности питьевой воды системы родников г. Саратова, обусловленных неканцерогенным эффектом, связанным с присутствием  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Fe, Mn, Al, As,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , Cr,  $\text{Pb}^{2+}$ ;
- определение закономерностей распределения вероятности неканцерогенной активности среди родников г. Саратова;
- выявление вероятности канцерогенной активности, связанной с употреблением родниковой воды г. Саратова, загрязнённой указанными контаминантами, с учётом особенностей расположения родников, а также абиогенными и антропогенными факторами окружающей среды.

## Материал и методы

Объекты исследования — вода родников, расположенных в черте г. Саратова: «Серебряный» (Ленинский район), «Поющий» (Ленинский район), в пос. Заплатиновка (Заводской район), им. Святой Софии (Заводской район), «Хрустальный» (Фрунзенский район), «Андреевский» (Ленинский район), «Часовенный» (Заводской район), «Мочинковский» (Заводской район), «Монастырский» (Ленинский район), «Господь и самаритянка» (Заводской район). Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». Санитарно-гигиенический анализ в весенний и осенний сезоны 2017–2020 гг. проводили в соответствии с ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества» в лаборатории Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора.

Определение концентрации ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  проводили ионометрическим методом с помощью иономера рХ-150МИ, определение  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (в соответствии с ГОСТ 18826),  $\text{NO}_2^-$  (в соответствии с ГОСТ 4192) проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре КФК-3, определение Mn, Al, As, Cr — методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-Z».

Оценка величины неканцерогенного риска базируется на пороговом подходе, предполагающем, что эффект токсического воздействия вещества на организм появляется только при достижении дозы, называемой референтной (RfD). Оценку величины канцерогенного риска производят в рамках беспорогового подхода, так как предполагается, что попадание малого количества вещества канцерогена внутрь клетки может привести к возникновению канцерогенного эффекта.

Суммарный индекс *HI* опасности при одновременном поступлении нескольких веществ из воды одним и тем же путём рассчитывали по формуле:

$$HI = \sum_i HQ_i \quad (1),$$

где  $HQ_i$  — коэффициент опасности для отдельного *i*-го загрязняющего компонента в воде, определяющийся согласно соотношению:

$$HQ_i = \frac{LADD_i}{RfD_i} \quad (2),$$

где  $LADD_i$  — величина среднесуточной дозы *i*-го загрязняющего компонента в воде;  $RfD_i$  — референтная доза (мг/кг),



Таблица 1

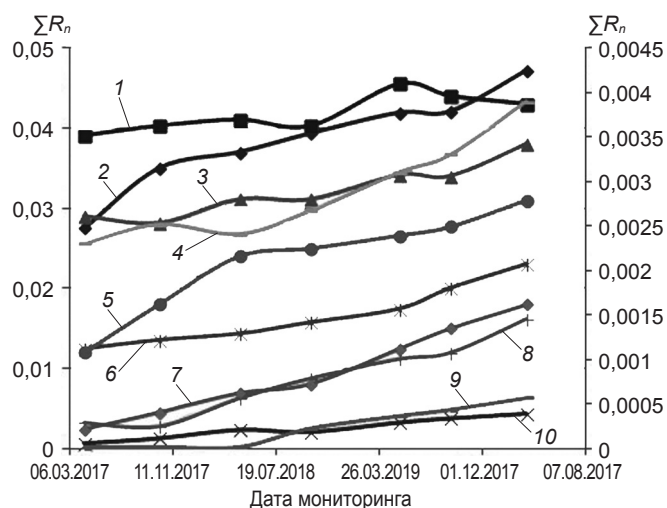
Распределение приоритетных загрязнителей родниковой воды г. Саратова по  $HQ$ 

Родник	$NO_3^-$	$Fe_{\text{общ}}$	$Ni^{2+}$	$Cd^{2+}$
«Андреевский»	0,004	0,002	0,923	0,032
«Святой Софии»	6,286	0,002	0,437	0,014
«Монастырский»	3,464	0,002	0,001	0,001
«Хрустальный»	8,018	0,001	0,005	1,001
«Заплатиновка»	5,429	0,005	0,045	0,028
«Часовенный»	1,535	1,002	0,822	1,212
«Серебряный»	0,321	0,030	1,231	0,003
«Поющий»	2,125	0,004	0,812	1,275
«Мочиновский»	0,947	0,004	0,001	1,023
«Господь и самаритянка»	1,964	0,002	1,009	0,656

определяющая воздействие загрязняющего вещества в течение всей жизни, которое не приведёт к возникновению неприемлемого риска в организме человека. Величина среднесуточной дозы  $LADD_i$  (мг/кг · сут) определяется следующим образом:

$$LADD_i = \frac{C_i \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} \quad (3),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента в воде;  $CR$  – суточное водопотребление (2 л/сут);  $ED$  – продолжительность воздействия (лет);  $EF$  – частота воздействия (дней/год);  $BW$  – средняя масса тела (70 кг);  $AT$  – период осреднения экспозиции (лет).



Родники: 1 – «Хрустальный», 2 – «Святой Софии», 3 – «Заплатиновка», 4 – «Серебряный», 5 – «Часовенный», 6 – «Поющий», 7 – «Господь и самаритянка», 8 – «Монастырский», 9 – «Андреевский», 10 – «Мочиновский»

**Рис. 1.** Изменение суммарного неканцерогенного риска родниковой воды г. Саратова по данным мониторинговых исследований за период 2017–2020 гг. по рассмотренным загрязнителям.

Ось  $\Sigma R_c$  слева относится к родникам 1–3, 5–8, 10, ось справа – к родникам 4, 9.

Если величина  $HQ < 1$ , то неканцерогенный риск является допустимым; если  $HQ = 1$ , то неканцерогенный риск является предельно допустимым; если  $HQ > 1$ , то неканцерогенный риск является опасным, при этом вероятность возникновения неблагоприятных эффектов у человека возрастает с увеличением  $HQ$ .

Величина индивидуального канцерогенного риска  $R_{ic}$  как вероятностной характеристики развития канцерогенного эффекта вследствие употребления питьевой воды, загрязнённой  $i$ -м компонентом, определялась в соответствии с системой оценки гигиенических рисков, принятой в Евросоюзе [23], по формуле:

$$R_{ic} = 1 - \exp(-LADD_i \cdot SF_{0i}) \quad (4),$$

где  $SF_{0i}$  – величина потенциала перорального канцерогенного риска, наносимого воздействием  $i$ -го вещества на организм (кг · день/мг).

## Результаты

Значения коэффициентов опасности для рассматриваемых веществ в питьевой воде приведены в табл. 1. Наибольший вклад в формирование неканцерогенной опасности родниковой воды из исследованных источников играют нитраты.

Наибольшая частота и величина превышений неканцерогенных санитарно-химических показателей чаще всего характерны для родников, находящихся на наибольшем перепаде высот. При этом снижение данных показателей происходит в следующем порядке: «Хрустальный», «Святой Софии», «Заплатиновка», «Часовенный», «Поющий», «Господь и самаритянка», «Монастырский», «Мочиновский», «Серебряный», «Андреевский». Данный факт может быть обусловлен стеканием вниз смылов поверхностных вод.

Для образцов воды всех изученных родников вклад марганца и алюминия в формирование неканцерогенного эффекта является пренебрежимо малым и варьируется для марганца от 0,0002 («Мочиновский») до 0,001 («Поющий»), а для алюминия – от 0,0001 («Хрустальный») до 0,001 (на 1-й Дачной). Неканцерогенные эффекты, обусловленные нитратами, лежали в интервале  $HQ$  от 0,0001 («Хрустальный») до 0,0008 (на 1-й Дачной).

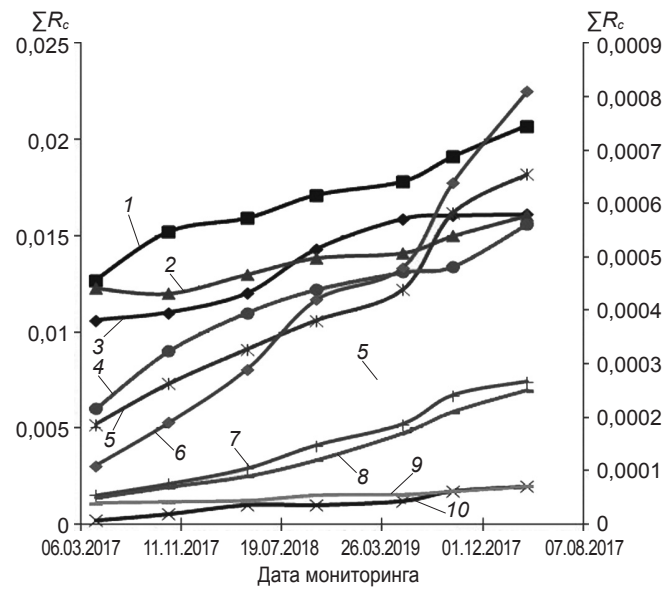
Результаты мониторинга за период 2017–2020 гг. показали (рис. 1), что величина суммарного неканцерогенного риска, обусловленного присутствием  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ , Fe, Mn, Al, As,  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , Cr,  $Pb^{2+}$ , возрастала с разной степенью полноты. При этом наибольший вклад в развитие неканцерогенных эффектов присутствует у родника «Хрустальный», находящегося в лесопарковой зоне, а также у родников «Серебряный», «Поющий», «Заплатиновка», расположенных в зоне активной сельскохозяйственной деятельности, и обусловлен поступлением в грунтовые воды азотсодержащих минеральных удобрений.

Значения индивидуального канцерогенного риска  $R_c$ , обусловленного питьевым употреблением родниковой воды г. Саратова, представлены в табл. 2.

Динамика суммарного канцерогенного риска, обусловленного данными загрязнителями, за период 2017–2020 гг. представлена на рис. 2.

## Обсуждение

Наибольший вклад нитратов в формирование неканцерогенной опасности родниковой воды объясняется протеканием процессов перегнивания азотсодержащих органических соединений листовой подстилки, имеющейся вблизи родников, так как они расположены в лесных массивах природного парка «Кумысная поляна», окаймляющего с западной стороны г. Саратов. Присутствие нитритов в воде связано, как правило, с содержанием нитратов



Родники: 1 – «Хрустальный», 2 – «Святой Софии», 3 – «Заплатиновка», 4 – «Серебряный», 5 – «Часовенный», 6 – «Поющий», 7 – «Господь и самаритянка», 8 – «Монастырский», 9 – «Андреевский», 10 – «Мочиновский»

Рис. 2. Изменение суммарного канцерогенного риска родниковой воды г. Саратова по данным мониторинговых исследований за период 2017–2020 гг. по рассмотренным канцерогенам.

Ось  $\Sigma R_c$  слева относится к родникам 1–3, 5–8, 10, ось справа – к родникам 4, 9.

и включает в себя биогенный азот, обусловленный как метаболической деятельностью растений, так и процессами их разложения, а кроме этого, смывом азотных удобрений с сельскохозяйственных угодий, расположенных вблизи родников.

Факт того, что наибольшая частота и величина превышений неканцерогенных санитарно-химических показателей чаще всего характерны для родников, находящихся на наибольшем перепаде высот, может быть обусловлен стеканием вниз смывов поверхностных вод. Территория лесопарка «Кумысная поляна» является частью Приволжской возвышенности Русской равнины. Данная локация располагается на отложениях осадочных пород верхнемелового периода. Осадочный материал осажается в пони-

женных участках рельефа. Аллювиальные и делювиальные отложения, сунковальные глины обуславливают наличие в грунтовых слоях железа, следов марганца, кадмия, никеля и других компонентов.

Кроме того, важную роль в этом отношении играют пруды, расположенные неподалёку от родников, а также наличие приусадебных участков. Опасный уровень неканцерогенного риска, обусловленного присутствием никеля, характерен для воды родников «Серебряный» и «Господь и самаритянка», уровень, относящийся к верхнему пределу допустимого, – у воды родников «Часовенный», «Поющий» и «Андреевский». Патологии сердечно-сосудистой системы объясняются действием нитратов и их метаболитов, приводящих к формированию метгемоглобина и развитию ишемической болезни сердца. Действие нитратов на ткань печени может приводить к некрозу гепатоцитов, деструкции паренхимы и другим патологическим процессам. Желудочно-кишечный тракт также находится в зоне высокой вероятности токсического воздействия, что обусловлено значительной адсорбционной способностью тяжёлых металлов по отношению к тканям желудка и кишечника. Почки же являются одним из приоритетных центров воздействия тяжёлых металлов [24].

Возрастание величины суммарного неканцерогенного риска, обусловленного присутствием  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Fe, Mn, Al, As,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , Cr,  $\text{Pb}^{2+}$  с разной степенью пологости, может быть обусловлено увеличением размывных процессов в прилегающих к родникам геологических породах, а также накапливающимся опавшим растительным веществом. Значения  $HQ$  для рассмотренных загрязнений в родниковой воде находятся в соответствии с результатами [14]. Превышение содержания данных соединений может быть связано с обменными процессами между водой и гумусом, а также подстилающими породами водоносных горизонтов, приуроченных преимущественно к меловому периоду. Климатический фактор влияет на состав родниковой воды через проявление закономерностей почвообразования в аридных зонах, при котором сосредоточение гипсовых и карбонатных пород приурочивается для аридных территорий к гумидному типу почвообразования, для которого характерны процессы миграции карбонатных пород. Это обуславливает повышенное значение минерализации воды родников, расположенных на данных территориях.

Динамика развития канцерогенных эффектов, обусловленных употреблением питьевой воды исследованных источников по результатам мониторинга за период 2017–2020 гг. показала, что наибольшая величина суммарного канцерогенного риска соответствует родникам, расположенным

Таблица 2

Значения индивидуального канцерогенного риска  $R_c$ , обусловленного питьевым употреблением родниковой воды г. Саратова

Родник	As	$\text{Cd}^{2+}$	Сробщ	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+}$
«Поющий»	$4,67 \cdot 10^{-7}$	$2,30 \cdot 10^{-3}$	$3,60 \cdot 10^{-7}$	$5,30 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-2}$
«Серебряный»	$5,89 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$2,30 \cdot 10^{-7}$	$4,50 \cdot 10^{-8}$	$2,07 \cdot 10^{-2}$
«Часовенный»	$8,99 \cdot 10^{-7}$	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$3,00 \cdot 10^{-8}$	$5,12 \cdot 10^{-7}$	$136 \cdot 10^{-2}$
«Хрустальный»	$4,00 \cdot 10^{-7}$	$1,94 \cdot 10^{-3}$	$2,00 \cdot 10^{-6}$	$4,00 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-5}$
«Господь и самаритянка»	$2,10 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$3,10 \cdot 10^{-6}$	$2,30 \cdot 10^{-7}$	$1,70 \cdot 10^{-2}$
«Андреевский»	$7,19 \cdot 10^{-7}$	$6,01 \cdot 10^{-5}$	$4,50 \cdot 10^{-7}$	$2,10 \cdot 10^{-7}$	$1,55 \cdot 10^{-2}$
«Святой Софии»	$3,90 \cdot 10^{-7}$	$3,01 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-6}$	$7,34 \cdot 10^{-3}$
«Монастырский»	$8,09 \cdot 10^{-7}$	$4,40 \cdot 10^{-5}$	$4,00 \cdot 10^{-6}$	$2,20 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-5}$
«Мочиновский»	$2,70 \cdot 10^{-7}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$7,50 \cdot 10^{-6}$	$2,12 \cdot 10^{-7}$	$8,02 \cdot 10^{-5}$
«Заплатиновка»	$2,75 \cdot 10^{-7}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$5,60 \cdot 10^{-6}$	$2,30 \cdot 10^{-7}$	$7,60 \cdot 10^{-4}$

на склонах неподалёку от автострад, — «Хрустальный», «Святой Софии» и «Заплатиновка». Величина канцерогенного риска для рассмотренных загрязнений в родниковой воде находится в соответствии с результатами [13, 14]. При этом основным компонентом, обуславливающим канцерогенный эффект, является никель. Причинами его поступления в воду могут являться внутрипластовый обмен с никельсодержащими породами, а также питание за счёт дождевой воды и процессы заиливания, в ходе которых происходит адсорбция тяжёлых металлов в том числе техногенным путём.

## Заключение

1. Наибольший вклад в опасность неканцерогенного воздействия при употреблении питьевой воды из изученных родников имеют нитраты, никель, кадмий и железо. При этом нитраты являются приоритетными загрязнителями для всех исследованных родников, кадмий и никель — для родников, находящихся вблизи автострад, железо — для одного источника, что, по-видимому, связано с обменными процессами между водой и гумусом. Токсическое неканцерогенное действие воды исследованных родников г. Саратова, вероятно, направлено преимущественно на сердечно-сосудистую систему и печень. В меньшей степени в условиях токсического действия исследованных образцов воды следует ожидать патологические изменения со стороны желудочно-кишечного тракта, почек, кожного покрова, эндокринной системы.

2. Вероятность суммарного неканцерогенного риска, обусловленного присутствием  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Fe, Mn, Al, As,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , Cr,  $\text{Pb}^{2+}$ , возрастала с разной степенью полостности, что обусловлено увеличением размывных процессов в прилегающих к родникам геологических породах, а также накапливающимся опавшим растительным веществом. При этом вероятности неканцерогенного и канцерогенного эффектов, обусловленных употреблением воды из исследованных родников, снижается с возрастанием высоты, на которой находится источник, над уровнем моря и обусловлена стеканием внизи смывов поверхностных вод.

3. Канцерогенный риск здоровью, связанный с употреблением воды из рассмотренных источников, может быть обусловлен преимущественно ионами никеля  $\text{Ni}^{2+}$ . Основными причинами попадания данных токсикантов в родниковую воду могут быть сельскохозяйственная деятельность на расположенных поблизости территориях, гниение растительных остатков, диффузия из почвы глинистых и каменных пород с дождевой водой и в результате техногенной деятельности.

4. Влияние аридного климата на распределение канцерогенного и неканцерогенного рисков в родниковой воде г. Саратова может объясняться обменными процессами родниковой воды с подстилающим водоносным горизонтом почв природного парка «Кумысная поляна», являющимся естественным аккумулятором карбонатных пород, определяющих повышенную общую минерализацию и жёсткость. Присутствие железа и марганца в почвах этого типа обусловлено преимущественно жизнедеятельностью железобактериальных бактерий в период паводков и дождей.

## Литература

(п.п. 3, 10, 15–22 см. References)

1. Зайцева Н.В., Клейн Н.В. Оценка риска здоровью населения при воздействии водного перорального фактора среды обитания в условиях крупного промышленного центра для задач социально-гигиенического мониторинга (на примере города Перми). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009; 11(1-6): 1139–43.
2. Здравоохранение в России — 2019. Статистический сборник. М.: Росстат; 2019.
4. Мельцер А.В., Горбанев С.А., Ерастова Н.В., Новикова Ю.А., Акулов Е.С. Риск-ориентированный подход к ранжированию водопроводных станций Ленинградской области. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2016; (1): 5–10.
5. Тулакин А.В., Плитман С.И., Амплеева Г.П., Пивнева О.С. Риск-ориентированный надзор, как основа обеспечения безопасности питьевой воды: проблемы и возможности. *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2018; 21(3): 28–31.
6. Коньшина Л.Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(9): 997–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-9-997-1003>
7. Пивоварова Е.А., Шибанова Н.Ю. Оценка канцерогенного риска здоровью населения республики Хакасия, обусловленного потреблением питьевой воды. *Анализ риска здоровью*. 2016; (3): 44–52.
8. Опарин А.Е. Гигиеническая оценка условий централизованного водоснабжения с позиций риска здоровью. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2012; 112(5): 99–102.
9. Ананьев В.Ю., Кайсарова Н.А., Кикю П.Ф., Измайлова О.А., Трунова И.Е. Оценка риска воздействия на население химических загрязнителей в пищевых продуктах и питьевой воде. *Здоровье населения и среда обитания*. 2011; (8): 30–4.
11. Сетко А.Г., Мрясова Ж.К., Терехова Е.А., Тюрин А.В. Риск развития неканцерогенных эффектов у детей промышленного города при многосредовой контаминации химическими загрязнителями. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 242–5. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-242-245>
12. Анисимов И.С., Малькова И.Л. Некондиционные подземные питьевые воды Кезского района Удмуртской республики как фактор риска здоровью населения. *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2018; 28(4): 384–91.
13. Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Егорова Н.Н., Кантор Е.А., Сырыгина Д.А., Егорова О.В. и соавт. Эколого-гигиеническая оценка риска влияния качества питьевых вод на здоровье населения мегаполиса. *Вода: химия и экология*. 2016; (9): 3–8.
14. Коньшина Л.Г., Лежнин В.Л. Оценка качества питьевой воды и риска для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(3): 5–10.
23. Киселев А.В., Мельцер А.В., Ерастова Н.В. Интегральная оценка питьевой воды по показателям химической безвредности на основе методологии оценки риска для здоровья населения. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2011; (3): 284–7.
24. Аксенова М.Е. Тяжелые металлы: механизмы нефротоксичности. *Нефрология и диализ*. 2000; 2(1-2): 39–43.

## References

1. Zaytseva N.V., Kleyn N.V. Estimation of risk to health of the population at impact of water peroral factor of inhabitancy in conditions of large industrial centre for problems of socially-hygienic monitoring (on example of Perm). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2009; 11(1-6): 1139–43. (in Russian)
2. Healthcare in Russia — 2019. Statistical collection. Moscow: Rosstat; 2019. (in Russian)
3. WHO. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva; 2018.
4. Mel'tser A.V., Gorbanev S.A., Erastova N.V., Novikova Yu.A., Akulov E.S. Risk-oriented approach to ranking of waterworks of the Leningrad region. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2016; (1): 5–10. (in Russian)
5. Tulakin A.V., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Pivneva O.S. The risk-oriented supervision of drinking water: problems and possibilities. *Prikladnye informatsionnye aspekty meditsiny*. 2018; 21(3): 28–31. (in Russian)
6. Kon'shina L.G. Assessment of the risk to children's health due to the chemical composition of drinking water sources of non-centralized water supply in Yekaterinburg. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(9): 997–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-9-997-1003> (in Russian)
7. Pivovarova E.A., Shibanova N.Yu. Evaluation of carcinogenic risk to public health of the republic of Khakassia associated with consumption of drinking water. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (3): 44–52. (in Russian)
8. Oparin A.E. Hygienic evaluation of the centralized water supply conditions from the position of risk for health. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2012; 112(5): 99–102. (in Russian)
9. Anan'ev V.Yu., Kaysarova N.A., Kikyu P.F., Izmaylova O.A., Trunova I.E. Estimation of risk of influence on the population chemical substances in foodstuff and potable water. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2011; (8): 30–4. (in Russian)

10. Bjørklund G. Lead concentrations in drinking water in Europe and cardiovascular mortality. *Nauka i zdravookhranenie*. 2019; 21(6): 5–10.
11. Setko A.G., Mryasova Zh.K., Terekhova E.A., Tyurin A.V. Risk of non-carcinogenic effects in children of the industrial city with multi-medium contamination of chemical pollutants. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 242–5. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-242-245> (in Russian)
12. Anisimov I.S., Mal'kova I.L. Sub-standard underground drinking waters of the Kezsky district of the Udmurt Republic as a risk factor to the population health. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle»*. 2018; 28(4): 384–91. (in Russian)
13. Suleymanov R.A., Valeev T.K., Egorova N.N., Kantor E.A., Syrygina D.A., Egorova O.V., et al. Ecological and hygienic assessment of the risk of the impact of the quality of drinking water on the metropolitan human health. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2016; (9): 3–8. (in Russian)
14. Kon'shina L.G., Lezhnin V.L. Assessment of the quality of drinking water in the industrial city and risk for public health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(3): 5–10. (in Russian)
15. Saleh H.N., Panahande M., Yousefi M., Asghari F.B., Conti G.O., Talae E., et al. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019; 190(1): 251–61. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1516-6>
16. Sami A.Z., Foad M.A., Al-Ghamdi A.Y. Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals and fluoride in some water wells in the Al-Baha Region, Saudi Arabia. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 2008; 14(6): 1306–17. <https://doi.org/10.1080/10807030802494667>
17. Alidadi H., Tavakoly S.S., Oftadeh B.Z.G., Tafaghodi M., Hosein Sh., Fakhari M. Health risk assessments of arsenic and toxic heavy metal exposure in drinking water in northeast Iran. *Environ. Health Prev. Med.* 2019; 24(1): 59. <https://doi.org/10.1186/s12199-019-0812-x>
18. Lebedeva (Verba) M., Gerasimova M., Konyushkova M. Micromorphology of solonchic horizons as related to environmental events in the Caspian Lowland. *J. Mt. Sci.* 2009; 6(2): 132–8. <https://doi.org/10.1007/s11629-009-1029-z>
19. Liu Q., Gao J., Li G., Tao H., Shi B. Accumulation and re-release of metallic pollutants during drinking water distribution and health risk assessment. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 2019; (8): 1371–9.
20. Evans S., Campbell C., Naidenko O.V. Cumulative risk analysis of carcinogenic contaminants in United States drinking water. *Heliyon*. 2019; 5(9): e02314. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02314>
21. Stoiber T., Temkin A., Andrews D., Campbell C., Naidenko O.V. Applying a cumulative risk framework to drinking water assessment: a commentary. *Environ. Health*. 2019; 18(37): 8. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0475-5>
22. Nyambura C., Hashim N.O., Chege M.W., Tokonami S., Omonya F.W. Cancer and non-cancer health risks from carcinogenic heavy metal exposures in underground water from Kilimambogo, Kenya. *Groundw. Sustain. Dev.* 2020; 10: 100315. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100315>
23. Kiselev A.V., Mel'tser A.V., Erastova N.V. Integral assessment of drinking water on indicators of chemical safety based on risk assessment methodology for public health. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2011; (3): 284–7. (in Russian)
24. Aksenova M.E. Toxic metals: mechanisms of nephrotoxicity. *Nefrologiya i dializ*. 2000; 2(1-2): 39–43. (in Russian)