

Гигиеническая оценка качества родниковой воды на основе риск-ориентированного подхода

© 2022. К. А. Савина¹, м. н. с.,

Д. Е. Иванов^{1,2}, д. б. н., профессор, зав. лабораторией,

А. В. Косарев¹, к. х. н., н. с., А. В. Шорина³, ст. преподаватель,

Ю. А. Панкратова¹, м. н. с.,

¹Саратовский МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения»,

410022, Россия, г. Саратов, ул. Заречная, д. 1а,

²Саратовская государственная юридическая академия,

410056, Россия, г. Саратов, ул. Вольская, д. 1,

³Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,

410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77,

e-mail: savina.ka@yandex.ru, ivanovde1963@mail.ru, aleteia@inbox.ru

В работе рассматривается проблема безопасного использования родников Саратовской области в качестве альтернативных источников водоснабжения. Был исследован 31 родник. В связи с повышенной антропогенной нагрузкой особое внимание было уделено 11 родникам на территории г. Саратова. Исследования проводили в течение 2011–2018 гг. по 25 химическим показателям в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Качество воды 65% обследованных родников по химическим показателям соответствует санитарным нормам, для 35% исследованных родников отмечено превышение нормативов хотя бы по одному показателю, для 23% – по нескольким показателям. Наиболее часто превышения установленных нормативов отмечаются по общей жёсткости (31%), содержанию марганца (31%), нитратов (23%), железа общего (8%). В зависимости от вклада в величину риска ольфакторно-рефлекторных эффектов показатели качества воды можно расположить в порядке убывания: марганец, жёсткость, хлориды, нитраты, железо. Загрязнение родниковой воды в Саратовской области может быть обусловлено особенностями осадочных пород водоносных горизонтов, а также сельскохозяйственной деятельностью.

Ключевые слова: родники, санитарно-химические показатели качества воды, органолептический риск, марганец, железо, нитраты.

Hygiene assessment of the spring water quality based on a risk-oriented approach

© 2022. K. A. Savina¹ ORCID: 0000-0003-4878-8784, D. E. Ivanov^{1,2} ORCID: 0000-0001-8162-9019

A. V. Kosarev¹ ORCID: 0000-0002-6614-7297, A. V. Shorina³ ORCID: 0000-0003-3132-2638

Yu. A. Pankratova¹ ORCID: 0000-0001-6021-0278

¹Saratov Hygiene Medical Research Center
of the Federal Budget Scientific Institution

“Federal Scientific Center for Medical
and Preventive Health Risk Management Technologies”,

1a, Zarechnaya St., Saratov, Russia, 410022,

²Saratov State Law Academy,

1, Volskaya St., Saratov, Russia, 410056,

³Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU),

77, Politechnicheskaya St., Saratov, Russia, 410054,

e-mail: savina.ka@yandex.ru, ivanovde1963@mail.ru, aleteia@inbox.ru

The work considers the safety of the use of springs in the Saratov region as alternative sources of water supply. The objects of the study were 31 springs. Due to the increased anthropogenic load, special attention was paid to 11 springs in the city of Saratov. Studies were conducted during 2018 for 25 chemical indicators, according to Sanitary Regulation SanPiN 1.2.3685-21.

The water quality of 65% of the springs surveyed by chemical indicators corresponds to sanitary standards, 35% of the springs studied exceed the MAC at least one indicator, the percentage of samples with excesses on several indicators was 23. Most often, the excess of the established standards is noted for the sanitary and chemical indicators of arid territories: total hardness (31%), the content of manganese (31%), nitrates (23%), total iron (8%). According to the contribution to the risk of olfactory-reflex effects, the priority pollutants of the springs of the Saratov region can be arranged in descending order: manganese, hardness, chlorides, nitrates, iron. Spring water pollution in the Saratov region is associated with the interaction of stratal waters with sedimentary rocks of aquifers, as well as agricultural activities.

Keywords: springs, sanitary and chemical indicators of water quality, organoleptic risk, manganese, iron, nitrates.

Оценка рисков здоровью, обусловленных употреблением родниковой воды, является в настоящее время актуальной задачей гигиены окружающей среды [1, 2].

Саратовская область находится в семиаридной и аридной климатических зонах. Характерными особенностями подземных вод Саратовской области, питающих родники, являются превышения нормативных значений по жёсткости, содержанию железа и марганца в воде [3]. Поскольку вода родников используется населением в качестве источника питьевого водоснабжения, особое значение приобретает социально-гигиенический мониторинг родников, который включает в себя проверку санитарно-химической безопасности и надёжности их функционирования [4, 5]. Для проведения мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности родниковой воды необходима комплексная оценка её качества [6–8]. Важной характеристикой качества питьевой воды является риск здоровью, обусловленный превышением нормативных значений по показателям, обладающим ольфакторно-рефлекторным действием (мутность, жёсткость, минерализация и т. д.).

Целью настоящей работы являлась эколого-гигиеническая оценка качества воды родников в Саратовской области как источников питьевого водоснабжения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования была вода из 31 родника в Саратовской области, питаемых грунтовыми водами. В данном исследовании была использована программа обследования каптажа родника, представленная в СанПиН 2.1.4.1175-02 [9]. Численность жителей в населённых пунктах, использующих родниковую воду для хозяйственно-питьевых нужд, составляла от 100 до 2500 человек.

В первую очередь оценивали санитарное состояние родников, которые, согласно опросу сельских жителей, проведённому в 2013–2018 гг., и информации на городском портале [1], пользовались наибольшим спросом. Анкети-

рование, в котором участвовало 858 человек, включало вопросы о качестве воды централизованного и нецентрализованного водоснабжения в населённых пунктах. По результатам анкетирования были выбраны родники для последующего отбора проб воды.

Пробоотбор родниковой воды проводили один раз в квартал, сезонная изменчивость состава родниковой воды была незначительна. В соответствии с [9] в пробах определяли мутность, жёсткость, общую минерализацию, содержание нитрат-, хлорид-, сульфат-ионов, железа общего и марганца общего. Химический анализ проб воды проводили общепринятыми методами [10–14]. На основе данных мониторинга воды были произведены расчёты риска здоровью по ольфакторно-рефлекторным показателям статистическим методом по методу пробит-анализа в соответствии с [15]. Расчёт риска осуществляли по формулам:

а) пробит-функция для определения рисков здоровью по показателю мутности воды:

$$\text{Prob}_M = -3 + 0,25 M, \quad (1)$$

где M – показатель мутности (мг/дм³);

б) пробит-функция для определения рисков здоровью по превышениям концентраций загрязнителей значений ПДК:

$$\text{Prob}_C = \sum \left(-2 + 3,32 \lg \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right). \quad (2)$$

Пробит-функция является верхним пределом интегральной величины риска ольфакторно-рефлекторных эффектов (Risk):

$$\text{Risk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Prob}} e^{-t^2/2} dt. \quad (3)$$

Отрицательное значение пробит-функции отвечает пренебрежимо малой, близкой к нулю вероятностной величине риска. Величина пробит-функции для рисков ольфакторно-рефлекторных эффектов при допустимых значениях санитарно-химических показателей не превышает предельного значения 0,1.

Результаты и обсуждение

Проведённый анализ воды из родников в Саратовской области свидетельствует о том, что качество воды относительно стабильно и в 65% случаев соответствует требованиям [9]. В таблице приведены показатели качества родниковой воды, по которым наблюдались превышения установленных нормативов для родников в 2018 г.

Качество воды родника зависит от особенностей химического состава грунтов, а также от защищённости водоносного горизонта. Для большинства родников, представленных в таблице, установлено превышение нормативных значений по жёсткости. Причинами повышенной общей жёсткости, мутности воды, а также высоких концентраций определяемых веществ и ионов могут быть факторы природного характера, связанные с химическим составом пород, процессами их выветривания, климатическими особенностями местности. Кроме того, высокие значения определяемых показателей могут объясняться изменением состава грунтов вследствие городского строительства, прокладки подземных коммуникаций, инфильтрацией загрязняющих веществ с поверхности и др.

Превышение нормативов по мутности было отмечено в воде родника, расположенного у Краеведческого музея (Волжский р-н) и родника «Беркутовский». С 2011 по 2018 гг. превышения нормативов по мутности составили 25–40%. Превышение общей минерализации и жёсткости, отмеченное в воде из нескольких родников, может быть связано с составом осадочных меловых пород. В Пензенской и Воронежской областях химический состав родниковой воды сопоставим с Саратовским регионом [16, 17], что объясняется аналогичными климатическими условиями, составом подстилающих пород и степенью антропогенной нагрузки в регионах. В аридной зоне отмечается повышенная жёсткость и минерализация подземных вод, в том числе родников. Величина данных показателей увеличивается в направлении с севера на юг.

Превышения нормативных значений по железу и сопутствующему ему марганцу в воде родников с. Советское (Аркадакский р-н), «Тарасовский», у Краеведческого музея и в Глубучевом овраге могут быть связаны с процессами механического разрушения и растворения железосодержащих минералов при изменении окислительно-восстановительных условий. За период с 2011 по 2018 гг. превышения нормативов по железу составили 17–28%,

а по марганцу – 31–45% от среднееголетних значений. Повышенное содержание нитратов, по-видимому, связано с активной сельскохозяйственной деятельностью в районе расположения родников с. Широкий уступ (Калининский р-н) и Дегтярный (Аткарский р-н). Превышения нормативов по нитратам составило 26–43% от среднееголетних значений. Превышение содержания хлоридов и сульфатов в родниковой воде с. Вавилов дол может быть связано с распространением солонцеватых лугово-чернозёмных почв в Ивантеевском районе.

По результатам опроса населения вода из всех родников обладала удовлетворительными вкусовыми качествами, отсутствием запаха и примесей. Более 80% опрошенного населения использовали родниковую воду для питьевых нужд, 63% пользователей употребляли такую воду без предварительной очистки, 17% подвергали её кипячению. По данным опроса и наблюдений установлено, что в среднем на небольших оборудованных каптажами родниках воду набирают от 100 до 200 человек в сутки, на более крупных – от 200 до 500 человек в сутки.

Руководствуясь результатами собственных исследований и имеющейся информацией [18–21], были определены показатели для расчёта риска по ольфакторно-рефлекторным показателям: мутность, общая жёсткость, общая минерализация, содержание железа, марганца, нитратов, хлоридов и сульфатов. Результаты расчёта пробит-функций, отражающих ольфакторно-рефлекторные характеристики качества воды изученных родников, представлены в таблице.

Родники, в воде которых обнаружены превышения норматива по одному или нескольким гигиеническим показателям, отличаются повышенным уровнем риска здоровью человека по величине жёсткости от 0,14 (р. Беркутовский) до 0,38 (р. Вавилов дол), по содержанию марганца – от 0,12 (р. Белый ключ) до 1,26 (с. Советское), железа – 0,15 (р. Тарасовский), нитратов – от 0,17 до 0,24 (с. Широкий уступ, ул. Центральная и Вишневая соответственно), хлоридов – 0,19 (Вавилов дол) (табл.). Приоритетные показатели качества воды родников Саратовской области можно расположить в порядке убывания их вклада в величину риска: марганец, жёсткость, хлориды, нитраты, железо. По остальным показателям можно проследить закономерность: с увеличением кратности превышения ПДК возрастает величина

Таблица / Table
 Результаты химического анализа и расчёта риска ольфакторно-рефлекторных эффектов (концентрация/значение пробиот-функций риска ольфакторно-рефлекторных эффектов) воды из родников в Саратовской области / Data on hygienic monitoring of water sources in the Saratov region that do not meet sanitary standards (concentration/ value of probiot-function of olfactory-reflex effects risk)

Название источника Name of source	Мутность, мг/л Turbidity, mg/L	Жёсткость, мг-экв/м ³ Hardness, mg-eq./m ³	NO ₃ ⁻ , мг/л mg/L	Cl ⁻ , мг/л mg/L	SO ₄ ²⁻ , мг/л mg/L	Общая минерализация, мг/л Total mineralization, mg/L	Fe _{общ.} , мг/л Fe _{total} , mg/L	Mn _{общ.} , мг/л Mn _{total} , mg/L
Белый ключ, Воскресенский р-н White Feeder, Voskresenskiy district	0,23/ -2,96	12,10 / -1,73	2,25/ -6,32	21,00/ -6,07	130/ -3,94	345/ -4,12	0,11/ -3,43	0,43 / 0,12
с. Широкий Уступ, ул. Центральная, Калининский р-н / Shirokiy ustup, Central'naya St., Kalininskiy district	0,23/ -2,96	5,60/ 0,84	202,50 / 0,17	42,02/ -5,06	75/ -4,73	945/ -2,67	0,10/ -3,59	0,05/ -2,97
с. Широкий Уступ, ул. Вишневая, Калининский р-н / Shirokiy ustup, Vishnyovaya St., Kalininskiy district	0,15/ -2,98	5,10/ -2,97	212,85 / 0,24	38,53/ -5,18	65/ -4,94	945/ -2,67	0,10/ -3,59	0,05/ -2,89
Тарасовский, Красноармейский р-н Tarasovskiy, Krasnoarmeyskiy district	0,15/ -2,98	17,30 / -1,21	41,40/ -2,12	308,02/ -2,18	260/ -2,94	720/ -3,06	1,33 / 0,15	0,03/ -3,74
рабочий пос. Новые Бурасы, Новобура- ский р-н / industrial community Novye Burasy, Novoburaskiy district	1,08/ -2,82	13,90 / -1,53	40,05/ -2,17	73,50/ -4,25	400/ -2,32	1050/ -2,51	0,20/ -2,58	0,23 / -0,79
с. Советское, Аркадакский р-н Village "Sovetskoe", Arkadaskiy district	0,53/ -2,91	5,10/ -2,97	35,10/ -2,35	52,50/ -4,74	230/ -3,12	930/ -2,69	0,37 / -1,71	0,96 / 1,26
Беркутовский, Ленинский р-н Berkutovskiy, Leninskiy district	14,25 / -0,62	44,10 / 0,14	1,35/ -7,05	28,07/ -5,64	60/ -5,05	135/ -5,47	0,04/ -4,94	0,06/ -2,86
район Краеведческого музея, Волжский р-н Local History Museum, Volzhskiy district	2,93 / -2,51	14,0 / -1,51	9,90/ -4,18	52,50/ -4,73	140/ -3,83	615/ -3,29	0,10/ -3,59	0,53 / 0,44
Глебучев овраг, Волжский р-н Glebuchev ovrag, Volzhskiy district	1,43/ -2,76	12,40 / -1,69	15,30/ -3,56	108,50/ -3,69	160/ -3,64	600/ -3,32	0,08/ -4,00	0,47 / 0,23
Деятёрный, Аткарский р-н Deptyarnyy, Atkarskiy district	0,18/ -2,97	45,10 / 0,17	114,15 / -0,70	259,03/ -2,43	10/ -7,64	960/ -2,64	0,04/ -5,06	0,01/ -6,31
Вавилов Дол, Ивanteevский р-н Vavilov Dol, Ivanteevskiy district	0,53/ -2,91	52,10 / 0,38	32,85/ -2,45	1599,50 / 0,19	605 / -1,72	2010 / -1,58	0,17/ -2,79	0,04/ -3,32
Предельно допустимая концентрация согласно СанПиН 1.2.3685-21 Maximum permissible concentration according to the Sanitary Regulations and Norms 1.2.3685-21	1,5	10	45	350	500	1500	0,3	0,1

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие нормативные.
 Note: characteristics that exceed regulatory values are highlighted in bold.

риска здоровью, обусловленного ольфакторно-рефлекторными характеристиками качества воды.

Для безопасного употребления воды из родников Саратовской области необходима предварительная обработка воды. Например, можно рекомендовать использовать фильтры на основе ионообменных смол.

Заключение

Произведена оценка риска здоровью населения Саратовской области, обусловленного превышением в родниковой воде нормативных значений показателей качества, обладающих ольфакторно-рефлекторным действием. Оценка выполнена по результатам опроса населения и санитарно-химического исследования воды, направленного на выявление соответствия воды из родников гигиеническим нормативам. Наиболее часто превышения установленных нормативов отмечаются по санитарно-химическим показателям, характерным для аридных территорий: общей жёсткости (73%), содержанию марганца (45%), нитратов (27%), железа общего (18%). Приоритетные показатели качества воды родников в Саратовской области можно расположить в порядке убывания их вклада в величину риска: марганец, жёсткость, хлориды, нитраты, железо. В наибольшей степени гигиеническим нормативам качества не удовлетворяет вода р. Вавилов дол (Ивантеевский район), что связано с особенностями почв (солонцеватость) и пород (меловые отложения) субаридных и аридных ландшафтов региона. Эколого-гигиеническая оценка качества родниковой воды Саратовской области за исследованный период показала, что для безопасного употребления воды необходима её предварительная обработка, например, с помощью ионообменных фильтров, активных в отношении рассмотренных загрязняющих веществ.

References

1. 100 best springs of Saratov region [Internet resource] <http://sadservie.ru/post/979> (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).
2. Geological structure of the Saratov region [Internet resource] <http://sadservie.ru/post/768> (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).
3. Event Report: "Creation and implementation of the innovative educational program" Monitoring and Management of Global processes in Large cities" within the framework of the activities of the Moscow Depart-

ment of UNESCO MSU on Global Problematics" [Internet resource] https://www.msu.ru/projects/amv/doc/h1_1_1_5_nim_5.pdf (Accessed: 11.02.2021).

4. Whitley L., Hutchings P., Cooper S., Parker A., Kebede A., Joseph S., Butterworth J., Van Koppen B., Mulejaa A. A framework for targeting water, sanitation and hygiene interventions in pastoralist populations in the Afar region of Ethiopia // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2019. V. 222. No. 8. P. 1133–1144. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.08.001

5. Daghara A., Al-Khatib I. A., Al-Jabari M. Quality of drinking water from springs in palestine: west bank as a case study // *Journal of Environmental and Public Health*. 2019. V. 2019. Article No. 8631732. doi: 10.1155/2019/8631732

6. Buymova S.A., Kostrov V.V. Change of quality of spring waters in the cities Ivanovo and Kokhma of the Ivanovo region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2008. No. 2. P. 38–42 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2008-2-038-42

7. Zueva T.V., Kitaev A.B Water quality in springs of the city of Perm (on materials of 2002–2007) // *Geograficheskiy vestnik*. 2010. No. 1. P. 42–45 (in Russian).

8. Singha S., Pasupuleti S., Villuri V.G.K. An integrated approach for evaluation of groundwater quality in Korba district, Chhattisgarh using geomatic techniques // *Journal of Environmental Biology*. 2017. V. 38. No. 5. P. 865–872. doi: 10.22438/jeb/38/5/MRN-600

9. Sanitary Regulations and Norms 1.2.3685-21 Hygiene standards and requirements to ensure safety and (or) harmlessness for humans, environmental factors. Moskva: Federalnaya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka, 2021. 988 p. (in Russian).

10. State Standart 33045-2014. Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters [Internet resource] https://allgosts.ru/13/060/gost_33045-2014 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

11. State Standart 31940-2012. Drinking water. Methods for determination of sulfate content [Internet resource] https://allgosts.ru/13/060/gost_31940-2012 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

12. State Standart 4245-72. Drinking water. Methods for determination of chloride content [Internet resource] https://allgosts.ru/13/060/gost_4245-72 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

13. State Standart 4011-72. Drinking water. Methods for determination of total iron [Internet resource] https://allgosts.ru/13/060/gost_4011-72 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

14. State Standart 4974-14. Drinking water. Determination of manganese content by photometric methods [Internet resource] https://allgosts.ru/13/060/gost_4974-204 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

15. MR 2.1.4.0032-11. Integrated assessment of drinking water of the centralized systems of water supply on indicators of chemical harmlessness. Methodical rec-

ommendations. Moskva: Federalnaya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya che-loveka, 2012. 31 p. (in Russian).

16. The water quality of Penza springs [Internet resource] <https://www.cge58.ru/news/02-12-2016> (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

17. On the quality of water in the springs of Vo-ronezh [Internet resource] <http://36.rospotrebnadzor.ru/news/16693> date of request 11.02.2021 (Accessed: 11.02.2021) (in Russian).

18. Buimova S.A., Bubnov A.G Environmental risk assessment of spring waters use // European Researcher. 2012. V. 7. No. 25. P. 1019–1029.

19. Hofmann J., Watson V., Scharaw B. Groundwater quality under stress: contaminants in the Kharaa river basin (Mongolia) // Environmental Earth Sciences. 2015. V. 73. No. 2. P. 629–648.

20. Petryakova O.D., Fominova E.A. The reasons of increase in concentration of manganese in natural and drinking water of the city Tolyatti // Vestnik volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. 2011. No. 11. P. 111–116 (in Russian).

21. Slavinskienė G., Jurevičius A. The influence of landfills located in different hydrogeological systems on Lithuanian groundwater quality // Baltica. 2016. V. 29. No. 1. P. 33–46. doi: 10.5200/baltica.2016.29.04