

Читать
онлайн
Read
onlineИсаев Д.С.¹, Еремин Г.Б.¹, Мозжухина Н.А.², Грибова К.А.², Степанян А.А.¹,
Бузинов Р.В.¹

Обоснование временных отступлений от нормируемых показателей качества питьевой воды

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия

Введение. В случаях несоответствия качества питьевой воды нормативам по показателю «жесткость общая» на период действия временных отступлений отсутствие угрозы здоровью должно быть подтверждено при помощи оценки риска для здоровья населения, однако это связано с методическими трудностями.

Материалы и методы. Проанализированы проекты по оценке риска для здоровья населения от употребления питьевой воды централизованных систем питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в двух населенных пунктах, а также результаты лабораторных исследований качества питьевой воды с использованием методов описательной статистики. Оценка риска выполнялась в соответствии с действующим руководством Р 2.1.10.1920–04.

Результаты. По результатам лабораторных исследований установлено, что качество питьевой воды перед подачей в распределительную сеть населенного пункта № 1 не соответствовало требованиям гигиенических нормативов по показателям «жесткость общая» и «стронций», населенного пункта № 2 – по показателям «жесткость общая», «сухой остаток», «магний», «бром», «бор», при этом все указанные показатели за исключением жесткости общей превышали ПДК не более чем на ошибку метода определения. В связи с этим временные отступления обосновывались только для показателя «жесткость общая». По результатам оценки риска для здоровья значения коэффициентов опасности соответствовали допустимому неканцерогенному уровню, а суммарный канцерогенный риск для здоровья при употреблении питьевой воды в течение всей жизни и в течение 7 лет соответствует верхней границе приемлемого риска.

Ограничения исследования. К ним можно отнести количество протоколов лабораторных исследований, выбранных для анализа за трёхлетний период, а также невозможность оценить полный перечень показателей с точки зрения оценки риска для здоровья и вероятностный характер полученных результатов.

Заключение. Для обоснования временных отступлений качества питьевой воды по показателю «жесткость общая» с помощью оценки риска для здоровья необходимо проводить полное исследование концентраций катионов, формирующих показатель, – магния, кальция, стронция и бария.

Ключевые слова: оценка риска для здоровья населения; питьевая вода; жесткость общая; неканцерогенный риск; канцерогенный риск; временные отступления

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Исаев Д.С., Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А., Грибова К.А., Степанян А.А., Бузинов Р.В. Обоснование временных отступлений от нормируемых показателей качества питьевой воды. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(8): 868–875. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-868-875> <https://elibrary.ru/htdvcp>

Для корреспонденции: Исаев Даниил Сергеевич, и. о. зав. отд. гигиены питьевого водоснабжения, мл. науч. сотр., ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: d.isaev@s-znc.ru

Участие авторов: Бузинов Р.В. – концепция и дизайн исследования, рецензирование статьи; Исаев Д.С. – концепция и дизайн исследования, написание статьи, выполнение расчётов риска; Мозжухина Н.А. – концепция и дизайн исследования, написание статьи, выполнение расчётов риска; Еремин Г.Б. – рецензирование и редактирование статьи; Грибова К.А. – редактирование статьи, выполнение статистического анализа, перевод статьи; Степанян А.А. – перевод и редактирование статьи. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 28.04.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликовано: 09.10.2023

Daniil S. Isaev¹, Gennadiy B. Yeremin¹, Natal'ya A. Mozzhuhina², Xenia A. Gribowa²,
Aleks A. Stepanyan¹, Roman V. Buzinov¹

Justification of temporary deviations from the standardized indicators of drinking water quality

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;

²North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, 195067, Russian Federation

Introduction. In cases of indicators non-compliance with the drinking water quality, including in «total hardness», for the validity period of temporary deviations, the absence of a threat to health should be confirmed through a risk assessment, which is associated with methodological difficulties.

Materials and methods. Health risk assessment projects from drinking water consumption of centralized drinking and household water supply systems in two settlements. The results of laboratory studies of drinking water quality using descriptive statistics methods are analyzed. The health risk assessment was carried out in accordance with the current guidelines G 2.1.10.1920–04.

Results. According to the results of laboratory studies, it was found that the quality of drinking water before being supplied to the distribution network of settlement No. 1 didn't meet the requirements of hygienic standards in terms of total hardness and strontium, settlement No. 2 – in terms of «total hardness», «dry residue», «magnesium», «bromine», «boron», while all these indicators, with the exception of total hardness exceeded the MPC by no more than an error of the determination method. In this regard, temporary deviations were justified only for the «total hardness». Non-carcinogenic risk assessment showed that the values of the hazard

coefficients corresponded to the permissible level. The levels of the total carcinogenic risk by consumption of the drinking water throughout whole life and for 7 years correspond to the upper limit of acceptable risk.

Limitations. The limitation was the number of laboratory test protocols selected for analysis — over a 3-year period. In addition, the limitation was the inability to evaluate the full list of indicators from the point of view of risk assessment, as well as the probabilistic nature of the results obtained.

Conclusion. To justify temporary deviations in drinking water quality in terms of «total hardness», it is necessary to conduct a complete study of the concentrations of cations forming the «total hardness» indicator — magnesium, calcium, strontium, and barium using a health risk assessment.

Keywords: health risk assessment; drinking water; total hardness, non-carcinogenic risk; carcinogenic risk; temporary deviations

Compliance with ethical standards. The study does not require the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Isaev D.S., Yeregin G.B., Mozzhuhina N.A., Gribova K.A., Stepanyan A.A., Buzinov R.V. Justification of temporary deviations from the standardized indicators of drinking water quality. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(8): 868–875. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-868-875> <https://elibrary.ru/htdvcp> (In Russ.)

For correspondence: Danil S. Isaev, acting head of drinking water supply hygiene department, junior researcher, North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: d.isaev@s-znc.ru

Information about the authors:

Buzinov R.V., <https://orcid.org/0000-0002-8624-6452>

Isaev D.S., <https://orcid.org/0000-0002-9165-1399>

Yeregin G.B., <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>

Mozzhuhina N.A., <https://orcid.org/0000-0002-8051-097X>

Gribova X.A., <https://orcid.org/0000-0002-6842-6628>

Stepanyan A.A., <https://orcid.org/0000-0002-8153-1131>

Contribution: Buzinov R.V. — concept and design of the study, article's reviewing; Isaev D.S., Mozzhuhina N.A. — concept and design of the study, writing an article, public health risk assessment; Yeregin G.B. — article's reviewing and editing, Gribova K.A. — article's editing, statistical processing of results, article's translation; Stepanyan A.A. — article's translation and editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 28, 2023 / Accepted: June 7, 2023 / Published: October 9, 2023

Введение

Согласно законодательству Российской Федерации, вода централизованных систем питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, подаваемая населению, соответствует установленным требованиям, если показатели качества не превышают гигиенических нормативов. Однако на практике встречаются ситуации, когда качество питьевой воды не соответствует гигиеническим нормативам. Неудовлетворительное качество питьевой воды может оказывать негативное влияние на состояние здоровья населения из-за повышенного содержания макро- и микроэлементов природного и антропогенного происхождения, поэтому необходимы мероприятия, направленные на улучшение качества подаваемой населению питьевой воды. При несоответствии качества питьевой воды гигиеническим нормативам (кроме показателей, характеризующих её безопасность), организация, осуществляющая водоснабжение, формирует инвестиционную программу с включением в неё плана мероприятий по приведению качества воды в соответствие с установленными требованиями. План мероприятий согласуется с Управлением Роспотребнадзора в субъекте Российской Федерации одновременно с согласованием временных отступлений показателей качества питьевой воды от гигиенических нормативов на период не более семи лет. В таких случаях методология оценки риска для здоровья при употреблении питьевой воды с повышенным содержанием отдельных элементов является важным инструментом регулирования отношений в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, обусловленного водным фактором [1–3]. Практика применения оценки риска при обосновании временных отступлений качества питьевой воды описана в научной литературе [1, 4]. Выполняемая оценка риска по действующему руководству¹ позволяет оценить показатели химической безвредности питьевой воды, однако часто возникает ситуация, когда не соответствуют гигиеническим нормативам органолептические или обобщённые показатели [1, 2, 5–9]. С учётом исследований, посвящённых оценке риска для здоровья населения на отдельных территориях с особенностями водоснабжения [10, 11], в настоящей статье описана практика выполнения оценки риска с целью установления отсутствия

угрозы для здоровья населения при несоответствии такого показателя качества питьевой воды, как «жесткость общая».

Цель исследования — проанализировать эффективность применения оценки риска для здоровья при установлении временных отступлений от гигиенических нормативов качества питьевой воды по показателю «жесткость общая».

Материалы и методы

Сведения о качестве питьевой воды получены из протоколов лабораторных исследований, выполненных в рамках производственного контроля аккредитованными лабораториями водоснабжающих организаций. Для гигиенической оценки и последующей оценки риска для здоровья выбрана точка отбора пробы воды перед поступлением в распределительную сеть населённого пункта — в резервуаре чистой воды. Так как источником водоснабжения населённых пунктов являются подземные воды, производственный контроль осуществлялся один раз в квартал. Период исследования составил три года (2019–2022 гг.). Проведён статистический анализ результатов лабораторных исследований качества питьевой воды в программе BlueSkye Statistics (версия 10.2), определён тип распределения данных (не соответствующий нормальному), представлены показатели описательной статистики: подходящий показатель центральной тенденции (среднее) — медиана, максимум, нижний и верхний квартили. Оценка риска выполнялась в соответствии с действующим руководством¹, проводился расчёт риска с применением медианы значений показателей на максимальный период употребления питьевой воды (на всю жизнь — 70 лет). Риск для здоровья на период реализации плана мероприятий по улучшению качества питьевой воды рассчитывался на период 7 лет (максимальный срок действия плана) с применением максимальных значений показателей. Проведено ранжирование рисков для здоровья с целью определения веществ с наибольшими их значениями.

Результаты

Были выбраны два населённых пункта, для которых проводилось обоснование временных отступлений качества питьевой воды от гигиенических нормативов по показателю «жесткость общая». Ниже представлен статистический анализ результатов лабораторных исследований качества питьевой воды в резервуаре чистой воды населённого пункта № 1 (табл. 1).

¹ Р 2.1.10.1920–04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

Таблица 1 / Table 1

Анализ результатов лабораторных исследований качества питьевой воды в резервуаре чистой воды населённого пункта № 1
Analysis of the results of laboratory studies results of the drinking water quality in the clean water tank of settlement No. 1

Показатель Indicator	Число исследований Number of studies	ПДК MPC	Медиана Median	Максимум Maximum	Нижний квартиль Low quartile	Верхний квартиль Upper quartile
Запах 20 °С, баллы / Odour 20 °C, scores	10	2	0	1	0	0
Привкус, баллы / Taste, scores	10	2	0	1	0	0
Цветность, градусы* / Colour, degrees*	10	20	5	5	5	5
Водородный показатель, Ед. / рН, рН Units	10	6–9	7.55	7.7	7.5	7.6
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ * Permanganate oxidizability, mg/dm ³ *	10	5	0.25	0.25	0.25	0.25
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	10	1000	419.5	470	398.5	434.5
Жёсткость общая, мг-экв/дм ³ Total hardness, mg-eq/dm ³	10	7	7.6	8.7	7.35	7.975
Нефтепродукты, суммарно, мг/дм ³ * Petroleum products in total, mg/dm ³ *	10	0.1	0.0055	0.0078	0.005	0.0072
Анионоактивные поверхностно-активные вещества (АПАВ), мг/дм ³ * Anionic surfactants (AS), mg/dm ³ *	10	0.5	0.025	0.025	0.025	0.025
2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4 Д), мг/дм ³ * 2,4-D, mg/dm ³ *	1	0.1	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
γ-ГХЦГ, мг/дм ³ * / Lindane, mg/dm ³ *	4	—	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Алюминий, мг/дм ³ * / Aluminum, mg/dm ³ *	4	0.2	0.04	0.04	0.04	0.04
Аммиак, мг/дм ³ / Ammonia, mg/dm ³	10	0.2	0.1	0.1	0.078	0.1
Барий, мг/дм ³ * / Barium, mg/dm ³ *	4	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1
Бериллий / Beryllium, mg/dm ³ *	4	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Бор, мг/дм ³ * / Boron, mg/dm ³ *	4	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05
ДДТ (сумма изомеров), мг/дм ³ * DDT (sum of isomers), mg/dm ³ *	4	—	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Железо (общее), мг/дм ³ / Iron (total), mg/dm ³	10	0.3	0.05	0.21	0.05	0.05
Кадмий, мг/дм ³ * / Cadmium, mg/dm ³ *	4	0.001	0.0001	0.00011	0.0001	0.0001025
Марганец, мг/дм ³ / Manganese, mg/dm ³	4	0.1	0.001	0.014	0.001	0.00425
Медь, мг/дм ³ / Copper, mg/dm ³	4	1	0.0017	0.0018	0.00145	0.0018
Молибден, мг/дм ³ / Molybdenum, mg/dm ³	4	0.07	0.00145	0.0016	0.0014	0.001525
Мышьяк, мг/дм ³ * / Arsenic, mg/dm ³ *	4	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005
Никель, мг/дм ³ / Nickel, mg/dm ³	4	0.02	0.00115	0.0012	0.001075	0.0012
Нитрат-ион, мг/дм ³ / Nitrate-ion, mg/dm ³	10	45	9.6	11	9.45	9.95
Нитрит-ион, мг/дм ³ / Nitrite-ion, mg/dm ³	10	3	0.003	0.08	0.003	0.003
Полифосфаты, мг/дм ³ * Polyphosphates, mg/dm ³ *	2	3.5	0.01	0.01	0.01	0.01
Ртуть, мг/дм ³ * / Mercury, mg/dm ³ *	4	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Свинец, мг/дм ³ * / Lead, mg/dm ³ *	3	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001
Селен, мг/дм ³ / Selenium, mg/dm ³	4	0.01	0.00565	0.0065	0.004475	0.006125
Стронций, мг/дм ³ / Strontium, mg/dm ³	4	7	7.5	8	7.475	7.625
Сульфат-ион, мг/дм ³ / Sulfate-ion, mg/dm ³	10	500	42.5	48	38.5	46
Фенол, мг/дм ³ * / Phenol, mg/dm ³ *	10	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Фторид-ион, мг/дм ³ / Fluoride-ion, mg/dm ³	3	1.5	0.83	1.1	0.82	0.965
Хлорид-ион / Chloride-ion, mg/dm ³	10	350	4.2	10	3.725	9.1
Хром (VI), мг/дм ³ * / Chromium (IV), mg/dm ³ *	4	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001
Цианиды, мг/дм ³ * / Cyanides, mg/dm ³ *	4	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
Цинк, мг/дм ³ / Zinc, mg/dm ³	4	5	0.0063	0.0084	0.006175	0.0069

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – значение показателя установлено на нижнем пределе обнаружения методики.

Note: Here and in Table 2* – the indicator value is established at the lower detection limit of the technique.

Таблица 2 / Table 2

Анализ результатов лабораторных исследований качества питьевой воды в резервуаре чистой воды населённого пункта № 2
Analysis of the results of laboratory studies results of the drinking water quality in the clean water tank of settlement No. 2

Показатель Indicator	Число исследований Number of studies	ПДК MPC	Медиана Median	Максимум Maximum	Нижний квартиль Low quartile	Верхний квартиль Upper quartile
Запах 20 °С, баллы / Odour 20 °C, scores	8	2	1	1	1	1
Привкус, баллы / Taste, scores	8	2	1	1	1	1
Мутность, мг/дм ³ / Turbidity, mg/dm ³	18	1.5	0.58	0.82	0.58	0.58
Цветность, градусы* / Color, degrees*	18	20	1.355	16.37	1	5
Водородный показатель, Ед. / рН, рН Units	18	6–9	7.55	7.9	7.5	7.6
Жёсткость общая, мг-экв/дм ³ Total hardness, mg-eq/dm ³	18	7	9.95	10.9	9.4075	10.275
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	17	1000	878	1014	831	940
Нефтепродукты, суммарно, мг/дм ^{3*} Petroleum products in total, mg/dm ^{3*}	12	0.1	0.005	0.0108	0.005	0.007875
Щёлочность, ммоль/дм ³ Alkalinity, mmol/dm ³	11	–	4.87	5.08	4.665	5.015
Перманганатная окисляемость, ммоль/дм ³ Permanganate oxidizability, mmol/dm ³	11	5	0.25	1.71	0.25	0.48
Полифосфаты, мг/дм ^{3*} Polyphosphates, mg/dm ^{3*}	17	3.5	0.01	0.043	0.01	0.01
2,4-дихлорфеноксисукусная кислота (2,4 Д), мг/дм ^{3*} / 2,4-D, mg/dm ^{3*}	2	0.1	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Алюминий, мг/дм ^{3*} / Aluminum, mg/dm ^{3*}	17	0.2	0.04	0.04	0.04	0.04
Аммиак, мг/дм ³ / Ammonia, mg/dm ³	17	2	0.081	0.15	0.058	0.1
АПАВ, мг/дм ^{3*} / Anionic surfactants (AS), mg/dm ^{3*}	11	0.5	0.025	0.025	0.025	0.025
Барий, мг/дм ^{3*} / Barium, mg/dm ^{3*}	2	0.7	0.05	0.05	0.05	0.05
Бериллий / Beryllium, mg/dm ^{3*}	2	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Бор, мг/дм ³ / Boron, mg/dm ³	11	0.5	0.59	0.74	0.556	0.65
Бром, мг/дм ³ / Bromine, mg/dm ³	1	0.2	0.226	0.226	0.226	0.226
γ-ГХЦГ, мг/дм ³ / Lindane, mg/dm ³	1	0.004 (ОДУ)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ДДТ (сумма изомеров), мг/дм ^{3*} DDT (sum of isomers), mg/dm ^{3*}	2	–	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Железо (общее), мг/дм ^{3*} / Iron (total), mg/dm ^{3*}	17	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Йод, мг/дм ^{3*} / Iodine, mg/dm ^{3*}	2	0.125	0.1	0.1	0.1	0.1
Кадмий, мг/дм ^{3*} / Cadmium, mg/dm ^{3*}	2	0.001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Калий, мг/дм ³ / Potassium, mg/dm ³	2	–	2.2	2.4	2.1	2.3
Кальций, мг/дм ³ / Calcium, mg/dm ³	1	–	19.64	19.64	19.64	19.64
Кобальт, мг/дм ³ / Cobalt, mg/dm ³	2	0.1	0.007	0.009	0.006	0.008
Кремний, мг/дм ³ / Silicon, mg/dm ³	2	20	7.3	8.88	6.51	8.09
Магний, мг/дм ³ / Magnesium, mg/dm ³	2	50	52.79	55.4	51.485	54.095
Марганец, мг/дм ³ / Manganese, mg/dm ³	18	0.1	0.01	0.069	0.01	0.016425
Медь, мг/дм ^{3*} / Copper, mg/dm ^{3*}	17	1	0.001	0.02	0.001	0.02
Молибден, мг/дм ^{3*} / Molybdenum, mg/dm ^{3*}	1	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
Мышьяк, мг/дм ^{3*} / Arsenic, mg/dm ^{3*}	2	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005
Натрий, мг/дм ³ / Sodium, mg/dm ³	2	200	66.55	70	64.825	68.275
Никель, мг/дм ³ / Nickel, mg/dm ³	2	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001
Нитраты, мг/дм ³ / Nitrates, mg/dm ³	17	45	19.2	23	3.73	21
Нитриты, мг/дм ³ / Nitrites, mg/dm ³	17	3	0.058	0.44	0.053	0.077
Ортофосфаты, мг/дм ³ / Orthophosphates, mg/dm ³	11	–	0.01	0.037	0.01	0.01
Ртуть, мг/дм ^{3*} / Mercury, mg/dm ^{3*}	2	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Свинец, мг/дм ^{3*} / Lead, mg/dm ^{3*}	2	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001
Селен, мг/дм ^{3*} / Selenium, mg/dm ^{3*}	2	0.01	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Сероводород, мг/дм ^{3*} / Hydrogen sulfide, mg/dm ^{3*}	2	0.05	0.002	0.002	0.002	0.002
Стронций, мг/дм ³ / Strontium, mg/dm ³	2	7	2.85	3.4	2.575	3.125
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulfates, mg/dm ³	17	500	203.8	288	162.9	254
Фенол, мг/дм ³ / Phenol, mg/dm ³	11	0.1	0.00067	0.0028	0.0005	0.00213
Фториды, мг/дм ³ / Fluorides, mg/dm ³	11	1.5	0.45	0.579	0.416	0.476
Хлориды / Chlorides, mg/dm ³	17	350	102	194	90	107.9
Хром, мг/дм ^{3*} / Chromium (IV), mg/dm ^{3*}	11	0.05	0.025	0.025	0.025	0.025
Цианиды, мг/дм ^{3*} / Cyanides, mg/dm ^{3*}	2	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
Цинк, мг/дм ³ / Zinc, mg/dm ³	11	5	0.005	0.005	0.005	0.005

Таблица 3 / Table 3

Результаты расчётов неканцерогенного риска для здоровья при употреблении питьевой воды
Calculations results of chronic non-carcinogenic risk

CAS	Показатель Indicator	RFD	Населённый пункт № 1 / Settlement No. 1				Населённый пункт № 2 / Settlement No. 2			
			на всю жизнь lifetime		на 7 лет for 7 years		на всю жизнь lifetime		на 7 лет for 7 years	
			HQ	ранг / rank	HQ	ранг / rank	HQ	ранг / rank	HQ	ранг / rank
94-75-7	2,4-Д / 2,4-D	0.01	0.0003	24	0.00003	25	0.0001	33	0.00003	34
7429-90-5	Алюминий / Aluminum	1	0.0005	23	0.0001	24	0.0005	29	0.0001	29
7664-41-7	Аммиак / Ammonia	0.98	0.0028	15	0.0003	16	0.0023	24	0.0010	22
7440-39-3	Барий / Barium	0.07	0.0196	6	0.0020	7	0.0098	13	0.0023	16
7440-41-7	Бериллий / Beryllium	0.002	0.0007	21	0.0001	23	0.0007	27	0.0002	28
7440-42-8	Бор / Boron	0.2	0.0034	14	0.0003	15	0.0808	7	0.0237	8
7726-95-6	Бром / Bromine	1	—	—	—	—	0.0062	17	0.0014	19
7783-06-4	Водород сульфид / Hydrogen sulfide	0.003	—	—	—	—	0.0091	15	0.0021	17
319-84-6	ГХЦГ / HCN	0.005	0.0046	10	0.0005	12	0.0003	30	0.0001	31
50-29-3	ДДТ / DDT	0.0005	0.0027	16	0.0003	19	0.0027	22	0.0006	24
7439-89-6	Железо общее / Iron total	0.3	0.0046	10	0.0019	8	0.0046	18	0.0011	20
7553-56-2	Йод / Iodide	0.017	—	—	—	—	0.0806	8	0.0188	9
7440-43-9	Кадмий / Cadmium	0.0005	0.0055	8	0.0006	11	0.0027	22	0.0006	24
7440-70-2	Кальций / Calcium	41.4	—	—	—	—	0.0130	12	0.0030	13
7440-48-4	Кобальт / Cobalt	0.02	—	—	—	—	0.0096	14	0.0029	14
7439-95-4	Магний / Magnesium	11	—	—	—	—	0.1315	4	0.0322	5
7439-96-5	Марганец / Manganese	0.14	0.0000	26	0.0003	17	0.0020	25	0.0032	12
7440-50-8	Медь / Copper	0.019	0.0025	18	0.0003	20	0.0007	26	0.0002	26
7439-98-7	Молибден / Molybdenum	0.005	0.0079	7	0.0009	9	0.0274	10	0.0064	11
7440-38-2	Мышьяк / Arsenic	0.0003	0.2283	3	0.0228	3	0.2283	2	0.0533	3
7440-23-5	Натрий / Sodium	34.3	—	—	—	—	0.0532	9	0.0130	10
—	Нефтепродукты / Petroleum products in total	0.03	0.0050	9	0.0007	10	0.0046	18	0.0023	15
7440-02-0	Никель / Nickel	0.02	0.0016	19	0.0002	21	0.0007	27	0.0002	27
14797-55-8	Нитраты / Nitrates	1.6	0.1644	4	0.0188	4	0.3288	1	0.0919	1
14797-65-0	Нитриты / Nitrites	0.1	0.0008	20	0.0022	6	0.0159	11	0.0281	6
7439-97-6	Ртуть / Mercury	0.0003	0.0046	10	0.0005	12	0.0046	18	0.0011	21
7439-92-1	Свинец / Lead	0.0035	0.0039	13	0.0004	14	0.0039	21	0.0009	23
7782-49-2	Селен / Selenium	0.005	0.0310	5	0.0036	5	0.0003	30	0.0001	29
7440-24-6	Стронций / Strontium	0.6	0.3425	2	0.0365	2	0.1301	5	0.0362	4
108-95-2	Фенол / Phenol	0.3	2.28E-05	25	2.28E-06	26	0.0001	34	0.0001	32
16984-48-8	Фториды / Fluorides	0.06	0.3790	1	0.0502	1	0.2055	3	0.0617	2
7440-47-3	Хром общий / Chromium total	0.005	0.0027	16	0.0003	17	0.1142	6	0.0266	7
57-12-5	Цианиды / Cyanide	0.02	—	—	—	—	0.0068	16	0.0016	18
7440-66-6	Цинк / Zinc	0.3	0.0006	22	0.0001	22	0.0002	32	0.0001	33

По результатам лабораторных исследований установлено, что качество питьевой воды перед подачей в распределительную сеть населённого пункта № 1 не соответствовало требованиям гигиенических нормативов² по показателям «жёсткость общая» 8,7 мг-экв/дм³ (норматив 7 мг-экв/дм³) и «стронций» — 8 мг/дм³ (норматив 7 мг/дм³).

Ниже представлен статистический анализ результатов лабораторных исследований качества питьевой воды в резервуаре чистой воды населённого пункта № 2 (табл. 2).

По результатам лабораторных исследований установлено, что качество питьевой воды не соответствовало требованиям гигиенических нормативов по показателям «жёсткость общая» — 10,9 мг-экв/дм³ (норматив — 7 мг-экв/дм³), «сухой остаток» — 1014 мг/дм³ (норматив — 1000 мг/дм³), «магний» —

55,4 мг/дм³ (норматив — 50 мг/дм³), «бром» — 0,226 мг/дм³ (норматив — 0,2 мг/дм³), «бор» — 0,74 мг/дм³ (норматив — 0,5 мг/дм³). Все указанные показатели, за исключением жёсткости общей, превышали ПДК не более чем на ошибку метода определения. Значения других исследованных показателей качества воды не превышали гигиенических нормативов, установленных СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Согласно федеральному закону «О водоснабжении и водоотведении»³, план мероприятий разрабатывается и согласовывается, если средние значения показателей качества питьевой воды за календарный год превышают гигиениче-

² СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

³ Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» (с изменениями и дополнениями). Принят Государственной Думой 23 ноября 2011 г. Одобрено Советом Федерации 29 ноября 2011 г.

Результаты расчётов канцерогенного риска для здоровья при употреблении питьевой воды

Calculations results of carcinogenic risk

CAS	Показатель Indicator	Населённый пункт № 1 / Settlement No. 1				Населённый пункт № 2 / Settlement No. 2			
		на всю жизнь Lifetime		на 7 лет for 7 years		на всю жизнь Lifetime		на 7 лет for 7 years	
		CR	Ранг / Rank	CR	Ранг / Rank	CR	Ранг / Rank	CR	Ранг / Rank
94-75-7	2,4 Д / 2,4 D	2.23E-08	7	5.20E-09	7	1.12E-08	7	2.60E-09	7
7782-49-2	Бериллий / Berillium	2.52E-06	2	5.89E-07	2	2.52E-06	3	5.89E-07	3
7439-97-6	ГХЦГ / HCH	7.63E-07	3	1.78E-07	3	3.70E-06	2	8.63E-07	2
7440-66-6	ДДТ / DDT	1.99E-07	6	4.65E-08	6	2.00E-07	6	4.66E-08	6
7440-43-9	Кадмий / Cadmium	4.46E-07	4	1.14E-07	4	2.23E-07	5	5.21E-08	5
7439-96-5	Мышьяк / Arsenic	4.40E-05	1	1.02E-05	1	4.40E-05	1	1.03E-05	1
7439-98-7	Свинец / Lead	2.75E-07	5	6.43E-08	5	2.76E-07	4	6.44E-08	4
Суммарный канцерогенный риск Total cancerogenic risk		4,82E-05		1.12E-05		5.09E-05		1.19E-05	

ские нормативы, следовательно, и временные отступления обосновываются только для таких показателей, а именно для показателя «жесткость общая», «стронций» (населённый пункт № 1) и «магний» (населённый пункт № 2).

В настоящем исследовании акцентированно обсуждаются подходы к обоснованию отсутствия угрозы здоровью при несоответствии гигиеническим нормативам показателя «жесткость общая», и далее в качестве временных отступлений показатели «стронций» и «магний» не будут рассматриваться, однако эти значения будут учтены в оценке риска для здоровья населения.

В табл. 3 приведены результаты расчётов неканцерогенного риска для здоровья при употреблении питьевой воды в населённых пунктах № 1 и № 2. Значениям исследованных показателей качества воды присвоены ранги.

Расчитанные значения коэффициентов опасности соответствуют допустимому уровню (менее 1). Наибольшие значения определены для фторидов, стронция, нитратов, мышьяка, селена (населённый пункт № 1) и для нитратов, мышьяка, фторидов, стронция, магния (населённый пункт № 2).

Ниже представлены результаты расчёта канцерогенного риска при употреблении питьевой воды по каждому показателю и суммарного канцерогенного риска (табл. 4).

Установлено, что уровни суммарного канцерогенного риска для здоровья при употреблении питьевой воды как в течение всей жизни, так и в течение 7 лет соответствуют второму диапазону рисков, предельно допустимому риску, то есть верхней границе приемлемого риска, что свидетельствует об отсутствии угрозы состоянию здоровья, однако показатели, формирующие значения канцерогенного риска (мышьяк), требуют постоянного контроля.

Обсуждение

Жесткость питьевой воды обусловлена содержанием в ней солей щёлочноземельных металлов (магния, кальция) и в меньшей степени – стронция и бария⁴ [12, 13]. Как показывает моделирование на животных, биологические эффекты жесткости и различных сочетаний указанных катионов достаточно близки (при несколько больших эффектах магниевой жесткости) [13]. Повышенная жесткость питьевой воды, особенно обусловленная качеством воды подземных источников водоснабжения, зачастую выступает в роли фактора, существенно отклоняющегося от нормативных значений и оказывающего влияние на здоровье

населения [3, 5–11, 14–19]. Несмотря на определённую неоднозначность данных, полученных в различных исследованиях, большинство авторов связывают биологические эффекты, обусловленные жесткостью, в первую очередь с катионами кальция и магния [14–26].

Согласно принятой в нашей стране методике определения показателя «жесткость общая», основанной на атомной спектрометрии, в случаях, когда в пробе воды концентрации ионов стронция и бария менее 10% (суммарно) от общего содержания щёлочноземельных элементов, допускается не учитывать содержание стронция и бария при расчёте жесткости воды. В этом случае расчёт базируется только на ионах кальция и магния. В настоящей работе в питьевой воде населённого пункта № 2 определены все щёлочноземельные металлы, которые обуславливают показатель «жесткость общая», отдельно стоит упомянуть превышение содержания магния. Следовательно, для населённого пункта № 2 наряду с оценкой показателя «жесткость общая» наиболее полно оценён и определяющий его значение катионный состав. В связи с этим можно предположить, что оценка суммы химических соединений позволяет адекватно оценить риск для здоровья от жесткости питьевой воды. Возможной альтернативой данному подходу является интегральная оценка риска для здоровья, в том числе по обобщённым показателям (например, по показателю «жесткость общая»), представленная в ряде работ [7, 11]. Несомненный недостаток данного подхода – отсутствие нормативных значений, возможность оценки только в сопоставлении.

В питьевой воде населённого пункта № 1 проводился контроль содержания стронция и бария, значение стронция не соответствовало гигиеническим нормативам. По представленным данным сделан вывод об отсутствии угрозы здоровью населения, однако для полноты оценки риска в таких случаях рекомендуется проведение дополнительных лабораторных исследований с целью определения концентраций магния и кальция. Во многих странах содержание кальция в питьевой воде имеет нормативное значение с учётом высокой биологической активности этого катиона [27]. В нашей стране показатель кальция в питьевой воде не имеет гигиенического норматива, однако для целей оценки риска применяется референтная доза при пероральном поступлении (RfD = 41,4 мг/кг)⁵. Несмотря на отсутствие гигиенического норматива для кальция, обоснованным является проведение исследований содержания щёлочноземельных металлов (кальция, магния, бария и стронция) в питьевой воде при

⁴ ГОСТ 31954–2012 Вода питьевая. Методы определения жесткости.

⁵ Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

превышении показателя «жесткость общая», что позволит сделать более достоверный вывод о наличии или отсутствии угрозы здоровью населения при выполнении оценки риска, на что указывают ранговые места этих показателей по значению неканцерогенного риска.

К ограничениям исследования можно отнести количество протоколов лабораторных исследований, выбранных для анализа за трёхлетний период, а также невозможность оценить полный перечень показателей с точки зрения оценки риска для здоровья и вероятностный характер полученных результатов.

Заключение

Проведённая работа позволила сделать вывод об отсутствии риска для здоровья населения на период действия плана мероприятий по приведению качества питьевой воды по показателю «жесткость общая» в соответствие с гигиеническими нормативами.

Для повышения достоверности оценки влияния на здоровье населения такого показателя, как «жесткость общая», следует проводить исследования всех катионов, формирующих показатель, – магния, кальция стронция и бария.

Литература

(п.п. 14–22, 25–27 см. References)

- Исаев Д.С., Носков С.Н., Мясников И.О. О практике применения методологии оценки риска при обосновании временных отступлений качества питьевой воды. В кн.: *Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: Материалы XII всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием*. М.; 2022: 106–9. <https://elibrary.ru/raxnew>
- Горбанев С.А., Степанян А.А., Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Мясников И.О. Обоснование выбора приоритетных показателей для контроля качества воды водоносных горизонтов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 842–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-842-849> <https://elibrary.ru/wuzokq>
- Зайцева Н.В., Клейн С.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. <https://elibrary.ru/mclbnp>
- Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Грибова К.А. О применении оценки риска при обосновании временных отступлений качества питьевой воды. В кн.: *Актуальные вопросы гигиены: Электронный сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященная 75-летию з.д.н. РФ, академика РАЕН, д.м.н., профессора В.В. Семеновой*. М.; 2023: 65–74.
- Соловьев М.Ю., Конченко А.В., Курашвили О.М., Михеева И.В. Влияние качества питьевой воды на состояние здоровья населения городов Ростовской области. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2009; (3): 44–6. <https://elibrary.ru/musdzt>
- Канатникова Н.В., Егорова Н.А., Захарченко Г.Л. Гигиеническая оценка подземных вод для централизованного питьевого водоснабжения г. Орла. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(4): 32–5. <https://elibrary.ru/uhkvz1>
- Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Бактыбаева З.Б., Даукаев Р.А. и др. Оценка риска здоровью населения горнорудных территорий Башкортостана, связанного с качеством питьевого водоснабжения. *Анализ риска здоровью*. 2016; (4): 64–71. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.08> <https://elibrary.ru/xhttcj>
- Жигалова А.В., Малкова М.А., Андреева В.А., Насырова Л.А., Хусайнова И.А., Вожаева М.Ю. и др. Сопоставление жесткости питьевой воды и заболеваемости по некоторым зонам водоснабжения г. Уфы. *Современные проблемы науки и образования*. 2016; (6): 554–61. <https://elibrary.ru/xibnbd>
- Канатникова Н.В., Егорова Н.А. Влияние жесткости питьевой воды на заболеваемость населения г. Орла. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 235–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-235-240> <https://elibrary.ru/yhswmb>
- Механт'ев И.И. Риск здоровью населения Воронежской области, обусловленный качеством питьевой воды. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2020; (4): 37–42. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42> <https://elibrary.ru/ttxyob>
- Рахматулина Л.Р., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р. Оценка риска здоровью населения связанного с качеством питьевой воды (на примере нефтяных районов Республики Башкортостан). *Анализ риска здоровью*. 2021; (2): 33–40. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.03> <https://elibrary.ru/rhccnx>
- Шнишкин Н.В. Сравнение методов определения общей жесткости воды. *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2019; (1): 371–4. <https://elibrary.ru/xdtntsl>
- Трофимович Е.М., Недовесова С.А., Айзман Р.И. Экспериментальная гигиеническая оценка содержания кальция, магния в питьевой воде и уровня её жесткости. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(8): 811–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-811-819> <https://elibrary.ru/fsqwys>
- Храмов А.В., Контрош Л.В., Панкратова М.Ю., Веженкова И.В. Влияние химического состава питьевой воды на уровень накопления токсичных металлов в организме человека. *Экология человека*. 2019; (6): 11–6. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-11-16> <https://elibrary.ru/mtjoal>
- Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Особенности микроэлементного статуса населения Оренбургской области. *Экология человека*. 2019; (1): 10–4. <https://elibrary.ru/zdcawt>

References

- Isaev D.S., Noskov S.N., Myasnikov I.O. On the Practice of Applying the Risk Assessment Methodology when Justifying Temporary Deviations in Drinking Water Quality. In book: *Hygiene, ecology and health risks in modern conditions: Materials of the XII All-Russian Scientific and Practical International Conference of Young Scientists and Specialists of Rosпотребнадзор with international participation [Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennykh usloviyakh: Materialy XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov Rosпотребнадзора s mezhdunarodnym uchastiem]*. Moscow; 2022: 106–9. <https://elibrary.ru/raxnew> (in Russian)
- Gorbanev S.A., Stepanyan A.A., Isaev D.S., Mozhukhina N.A., Eremin G.B., Myasnikov I.O. Justification of the priority indicators choice for water quality control in aquifers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 842–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-842-849> <https://elibrary.ru/wuzokq> (in Russian)
- Zaytseva N.V., Kleyn S.V. Estimation of risk to health of the population at impact of water peroral factor of inhabitanсy 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. <https://elibrary.ru/mclbnp> (in Russian)
- Isaev D.S., Mozhukhina N.A., Eremin G.B., Gribova K.A. On the use of a risk assessment when justifying temporary deviations in the quality of drinking water. In: *Current Issues of Hygiene: Electronic Collection of Scientific Works of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 75th Anniversary of the Honored Worker of Science, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor V.V. Semenov [Aktual'nye voprosy gigieny: Elektronnyy sbornik nauchnykh trudov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 75-letiyu z.d.n. RF, akademika RAEN, d.m.n., professora V.V. Semenovoy]*. Moscow; 2023: 65–74. (in Russian)
- Solov'ev M.Yu., Konchenko A.V., Kurashvili O.M., Mikheeva I.V. Impact of drinking water quality on the health status of the population of the cities of the Rostov region. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2009; (3): 44–6. <https://elibrary.ru/musdzt> (in Russian)
- Kanatnikova N.V., Egorova N.A., Zakharchenko G.L. Hygienic estimation of subsoil water for public drinking water supply of the city of Orel. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(4): 32–5. <https://elibrary.ru/uhkvz1> (in Russian)
- Suleymanov R.A., Bakirov A.B., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R., Baktybaeva Z.B., Daukaev R.A., et al. Estimation of risk to health of the population of mining territories of Bashkortostan connected with quality of drinking water supply. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; 4: 58–65. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.08> <https://elibrary.ru/xuqqgk> (in Russian)
- Zhigalova A.V., Malkova M.A., Andreeva V.A., Nasyrova L.A., Khusainova I.A., Vozhdaeva M.Yu., et al. Comparison of hard water and diseases of populations consume drinking water of some areas of Ufa city. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016; (6): 554–61. <https://elibrary.ru/xibnbd> (in Russian)
- Kanatnikova N.V., Egorova N.A. The impact of the drinking water hardness on the morbidity rate of the population of the city of Orel. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(3): 235–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-235-240> <https://elibrary.ru/yhswmb> (in Russian)
- Mekhan'tev I.I. Health risks for the population of the Voronezh region related to drinking water quality. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*.

Original article

- 2020; (4): 37–42. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42>
<https://elibrary.ru/ttxyob> (in Russian)
11. Rakhmatullina L.R., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R. Assessing health risks associated with drinking water quality (on the example of regions in Bashkortostan where oil fields are located). *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (2): 33–40. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.03> <https://elibrary.ru/rhecnx> (in Russian)
 12. Shishkin N.V. Comparison of methods for determining total water hardness. *Teoriya i praktika*. 2019; (1): 371–4. <https://elibrary.ru/xdtnsl> (in Russian)
 13. Trofimovich E.M., Nedovesova S.A., Ayzman R.I. Experimental hygienic estimation of calcium and magnesium concentrations in drinking water, and its hardness. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(8): 811–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-811-819> <https://elibrary.ru/fsqwys> (in Russian)
 14. Preedy V.R. *Calcium: Chemistry, Analysis, Function and Effects*. Royal Society of Chemistry; 2015.
 15. WHO. Cotruvo J., Bartram J. Calcium and magnesium in drinking-water: Public health significance; 2009. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563550>
 16. WHO. Calcium and magnesium in drinking water: public health significance; 2009. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563550>
 17. WHO. Nutrients in Drinking Water; 2005. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9241593989>
 18. Bacciotini L., Tanini A., Falchetti A., Masi L., Franceschelli F., Pampaloni B., et al. Calcium bioavailability from a calcium-rich mineral water, with some observations on method. *J. Clin. Gastroenterol.* 2004; 38(9): 761–6. <https://doi.org/10.1097/01.mcg.0000139031.46192.7e>
 19. Yang C.Y., Chiu H.F. Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from hypertension. *Am. J. Hypertens.* 1999; 12(9 Pt. 1): 894–9. [https://doi.org/10.1016/S0895-7061\(99\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0895-7061(99)00065-5)
 20. Rosenlund M., Berglind N., Hallqvist J., Bellander T., Bluhm G. Daily intake of magnesium and calcium from drinking water in relation to myocardial infarction. *Epidemiology*. 2005; 16(4): 570–6. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000165390.18798.62>
 21. Meunier P.J., Jenvrin C., Munoz F., de la Gueronniere V., Garnero P., Menz M. Consumption of a high calcium mineral water lowers biochemical indices of bone remodeling in postmenopausal women with low calcium intake. *Osteoporos. Int.* 2005; 16(10): 1203–9. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1828-6>
 22. Galan P., Arnaud M.J., Czernichow S., Delabroise A.M., Prezioso P., Bertrais S., et al. Contribution of mineral waters to dietary calcium and magnesium in a French adult population. *J. Am. Diet. Assoc.* 2002; 102(11): 1658–62. [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(02\)90353-6](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(02)90353-6)
 23. Khramov A.V., Kontrosh L.V., Pankratova M.Yu., Vezhenkova I.V. Chemical composition of drinking water and accumulation of toxic metals in a human body. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (6): 11–6. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-11-16> <https://elibrary.ru/mtjoal> (in Russian)
 24. Sal'nikova E.V., Burtseva T.I., Skal'nyy A.V. Microelement status of the Orenburg region population. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (1): 10–4. <https://elibrary.ru/zdcawt> (in Russian)
 25. 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>
 26. Vetrinmurugan E., Brindha K., Elango L., Ndwandwe O.M. Human exposure risk to heavy metals through groundwater used for drinking in an intensively irrigated river delta. *Appl. Water Sci.* 2017; 7: 3267–80. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0472-6>
 27. WHO. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum; 2017. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>