

Читать  
онлайн  
Read  
onlineХарина Г.В.<sup>1</sup>, Алёшина Л.В.<sup>2</sup>

## Анализ качества подземных вод Свердловской области

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 620143, Екатеринбург, Россия;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620144, Екатеринбург, Россия

**Введение.** Качество и доступность питьевой воды являются необходимыми условиями охраны здоровья и обеспечения благоприятных условий жизни человека.

**Цель** настоящей работы состоит в оценке качества грунтовых вод из источников нецентрализованного водоснабжения Свердловской области.

**Материалы и методы.** Пробы воды отбирали из различных источников подземных вод Свердловской области – родников, колодцев, скважин. Качество воды оценивали по следующим показателям: жёсткость, окисляемость, pH, содержание тяжёлых металлов (меди, свинца, кадмия, никеля и цинка), нитрат-ионов. Исследования проводили методами титриметрии (жёсткость и окисляемость), потенциометрии (pH и содержание нитрат-ионов) и инверсионной вольтамперометрии (содержание тяжёлых металлов). Степень загрязнения грунтовых вод тяжёлыми металлами оценивалась по индексу загрязнения  $C_d$ .

**Результаты.** Показатель pH в исследуемых пробах воды был в пределах допустимых значений. Жёсткость исследуемых грунтовых вод (за исключением одной пробы) соответствовала ПДК. Высокое содержание нитратов, обусловленное внесением минеральных удобрений и стоками промпредприятий, обнаружено в двух пробах, а превышение нормативных значений окисляемости вследствие проникновения в подземные воды коммунально-бытовых стоков – в трёх пробах. Выявленное сильное загрязнение ряда подземных источников свинцом, кадмием и цинком вызвано действием различных техногенных факторов.

**Ограничения исследования** распространяются на количество анализируемых проб, места их отбора, число показателей качества методов их определения.

**Заключение.** Установлено, что грунтовые воды Свердловской области из семи источников нецентрализованного водоснабжения загрязнены нитратами, органическими веществами, тяжёлыми металлами (свинцом, цинком, кадмием) и характеризуются повышенной жёсткостью. Обнаружено многократное превышение ПДК свинца, кадмия и цинка в трёх пробах воды. Установлен антропогенный характер загрязнения воды, обусловленный преимущественно близостью автомагистралей и промышленных предприятий к источникам водозабора. Рассчитанные индексы загрязнения грунтовых вод позволили оценить уровень их загрязнения как высокий.

**Ключевые слова:** подземные воды; загрязнение; тяжёлые металлы; нитраты; жёсткость

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления документов, регулирующих соблюдение этических норм.

**Для цитирования:** Харина Г.В., Алёшина Л.В. Анализ качества подземных вод Свердловской области. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 221-228. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-221-228> <https://elibrary.ru/scvewt>

**Для корреспонденции:** Харина Галина Валерьяновна, доцент кафедры математических и естественнонаучных дисциплин ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 620143, Екатеринбург. E-mail: gvkharina32@yandex.ru

**Участие авторов:** Харина Г.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста; Алёшина Л.В. – сбор и обработка материала, редактирование. 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: 21.11.2022 / Принята к печати: 24.03.2023 / Опубликовано: 20.04.2023

Galina V. Kharina<sup>1</sup>, Ludmila V. Alyoshina<sup>2</sup>

## Analysis of the quality of groundwater in the Sverdlovsk region

<sup>1</sup>Russian State Professional Pedagogical University, Yekaterinburg, 620143, Russian Federation;<sup>2</sup>Ural State University of Economics, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

**Introduction.** The quality and availability of drinking water is a prerequisite for the protection of health and ensuring the necessary living conditions of modern man.

**The aim of this work** is to assess the quality of groundwater from sources of non-centralized water supply in the Sverdlovsk region.

**Materials and methods.** Water samples were taken from various groundwater sources including springs, wells, boreholes in the Sverdlovsk region. Water quality was assessed by the following indicators: hardness, oxidizability, pH, content of heavy metals (copper, lead, cadmium, nickel and zinc), nitrate ions. The studies were carried out by titrimetry (hardness and oxidizability), potentiometry (pH and nitrate ion content) and inversion voltammetry (heavy metal content). The degree of contamination of these groundwater with heavy metals was estimated by the  $C_d$  pollution index.

**Results.** The pH values in the studied water samples are within acceptable values. (except for one sample). The hardness values of the studied groundwater (with the exception of one sample) correspond to the maximum permissible concentration (MPC). A high content of nitrates due to the application of mineral fertilizers and industrial effluents was found in two samples studied. Excess of the standard values of oxidizability due to penetration of municipal wastewater into the groundwater was detected in three samples.

The revealed strong contamination of a number of underground sources with lead, cadmium and zinc is caused by the action of various technogenic factors.

**Limitations.** The number of analyzed samples, the variety of sampling sites, the number of indicators of the quality of the studied water samples, and methods of their determination are limited.

**Conclusion.** Thus, the groundwater of the Sverdlovsk region from seven sources of non-centralized water supply were revealed to be contaminated with nitrates, organic pollutants, heavy metals (lead, zinc, cadmium) and characterized by increased rigidity. MPC of lead, cadmium and zinc was repeatedly found to be exceeded in three water samples. The anthropogenic nature of water pollution has been established, mainly due to the proximity of highways and industrial enterprises to water intake sources. The calculated indices of groundwater pollution allowed estimating the level of their pollution as high.

**Keywords:** groundwater; pollution; heavy metals; nitrates; hardness

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of documents regulating compliance with ethical standards.

**For citation:** Kharina G.V., Alyoshina L.V. Analysis of the quality of groundwater in the Sverdlovsk region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 221–228. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-221-228> <https://elibrary.ru/scvewt> (In Russian)

**For correspondence:** Galina V. Kharina, Associate professor of the Department of Mathematical and Natural Sciences, Russian State Professional Pedagogical University, Yekaterinburg, 620143, Russian Federation. E-mail: [gvkharina32@yandex.ru](mailto:gvkharina32@yandex.ru)

**Information about the authors:**

Kharina G.V., <https://orcid.org/0000-0002-6656-3805> Alyoshina L.V., <https://orcid.org/0000-0002-7267-1626>

**Contribution:** Kharina G.V. — the concept and design of the study, writing the text; Alyoshina L.V. — collection and processing of the material, editing. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: November 21, 2022 / Accepted: March 24, 2023 / Published: April 20, 2023

## Введение

В условиях усиливающегося антропогенного давления на окружающую среду всё более острой становится проблема запасов качественной питьевой воды. По данным [1], в России около 40% водопроводов с забором воды из поверхностных водоисточников не удовлетворяют требованиям качества из-за отсутствия очистных сооружений должного уровня, износа водоразводящих сетей, коррозии труб и т. д. Несмотря на спад промышленного производства, в Свердловской области продолжается загрязнение окружающей среды, в том числе и водных источников. Отмечена достоверная связь между высоким уровнем загрязнения воды в регионе и частотой случаев смерти от злокачественных новообразований. Например, Екатеринбург наряду со многими другими городами области отнесён к зоне максимального риска как по интенсивности загрязнения воды, так и по степени канцерогенной опасности. Достижение соответствия гигиеническим нормативам показателей качества поверхностных вод из источников централизованного водоснабжения — технологически и экономически сложная задача вследствие мощного техногенного загрязнения [2]. В связи с этим одним из путей обеспечения населения Свердловской области качественной питьевой водой является использование подземных вод. Следует отметить, что в настоящее время загрязняются не только поверхностные, но и грунтовые воды, особенно в районах крупных промышленных центров [3–6]. Привнесение в подземные воды чуждых биогенов химических агентов может происходить разными путями: по затрубному пространству неисправных скважин, через карстовые воронки, при просачивании различных стоков из отстойников и хранилищ, в результате фильтрации атмосферных осадков. Кроме того, в результате увеличения объёмов потребления подземных вод в границах промышленного центра происходит образование так называемой депрессионной воронки, способствующей кардинальной перестройке гидродинамического и геохимического балансов подземных вод [3]. Последнее приводит к постепенному осушению целевых водоносных горизонтов, усилению процессов перетекания подземных вод из смежных пластов с возможностью их смешивания с загрязнёнными водами и т. д. При этом убеждённость людей в высоком качестве подземной воды из любого источника зачастую приводит к широкому её использованию без предварительного анализа качества.

Исследованию качества подземных вод в Екатеринбурге и Свердловской области посвящено ограниченное число работ. Например, Л.Г. Коньшиной изучены риски для здоровья населения, обусловленные употреблением воды из источников нецентрализованного водоснабжения [3, 6, 7]. В работе [3] отмечается, что пробы питьевой воды из некоторых индивидуальных скважин частных домов Екатеринбурга не соответствуют нормативным значениям по таким показателям, как запах, цветность, мутность, жёсткость, минерализация, окисляемость, содержание железа, нитратов, марганца, сухого остатка. Приводятся также данные о низком качестве воды в скважинах на территориях коттеджных посёлков и садовых некоммерческих товариществ (СНТ)

вблизи Екатеринбурга. Результаты исследования качества подземных вод из трубчатых колодцев [6] в коттеджных посёлках и СНТ Екатеринбурга позволили выявить превышение допустимых уровней соединений мышьяка и нитратов. Низкая оценка качества подземной воды в Екатеринбурге дана Семенищевым В.С. и соавт. [8]: только в 7 родниках из 20 исследованных вода соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685–21, предъявляемым к качеству воды нецентрализованного водоснабжения [9]. При этом среди доминирующих экотоксикантов отмечены железо, марганец, барий и радионуклиды. О повышенном содержании железа и марганца в водах подземного горизонта Екатеринбурга и необходимости внедрения методов доочистки и обеззараживания грунтовых вод свидетельствуют данные исследования [10].

Интенсивное водопотребление из подземных источников в городах, где ощущается нехватка чистой питьевой воды, способствует постепенному изменению гидродинамического и гидрогеохимического баланса запасов подземных вод. Последнее влечёт за собой осушение водоносных горизонтов, ускорение процессов перетекания вод из смежных пластов, смешение вод разного уровня качества, усиление процессов их антропогенного загрязнения, характеризующегося высокими концентрациями тяжёлых металлов, нитратов, мышьяка и других экотоксикантов.

В Государственном докладе Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2021 году» [11] отмечено, что Екатеринбург отнесён к территории риска по санитарно-токсикологическим показателям качества питьевой воды, а число проб, не удовлетворяющих санитарно-токсикологическим требованиям, из источников нецентрализованного водоснабжения Свердловской области непрерывно растёт с 2019 г. Все эти обстоятельства обусловили необходимость изучения закономерностей формирования химического состава подземных вод Екатеринбурга, оценки качества воды на основании определения ряда показателей и пересмотра вопросов организации и содержания зон санитарной охраны источников нецентрализованного водоснабжения. Настоящая работа является продолжением проведённых ранее исследований качества питьевой воды, показавших кратность превышения нормативных значений определяемых показателей и причины загрязнения воды централизованных и нецентрализованных источников питьевого и хозяйственного водоснабжения в городах Свердловской области [12, 13].

**Цель работы** — оценка качества подземных вод в нецентрализованных источниках питьевого водоснабжения в Екатеринбурге.

## Материалы и методы

Пробы воды отбирали из различных источников нецентрализованного водоснабжения Свердловской области — родников, колодцев, скважин (табл. 1). Глубина скважин составляет от 20 до 50 м.

**Источники нецентрализованного водоснабжения Свердловской области****Sources of non-centralized water supply in the Sverdlovsk region**

№ пробы Sample no.	Тип водоемщика	Местонахождение водоемщика
1	Колодец (глубина 7 м) Well (depth 7 m)	СНТ «Восток» по Московскому тракту (г. Екатеринбург) Horticultural non-profit partnership (HNPP) "Vostok" on the Moscow highway (Yekaterinburg city)
2	Скважина / Borehole	СНТ № 12 (г. Верхняя Пышма) / HNPP No. 12 (Verkhnyaya Pyshma city)
3	Скважина Borehole	СНТ «Восток» по Московскому тракту (г. Екатеринбург) HNPP "Vostok" on the Moscow highway (Yekaterinburg city)
4	Скважина Borehole	СНТ № 66 по Московскому тракту (г. Первоуральск) HNPP No. 66 on the Moscow highway (Pervouralsk city)
5	Скважина Borehole	Станция Исток, пос. Компрессорный (г. Екатеринбург) Istok station, village Compressor Yekaterinburg city
6	Подземный ключ «Поющий родник» Underground key "Singing Spring"	Октябрьский район (г. Екатеринбург) Oktyabrsky district (Yekaterinburg city)
7	Колодец (глубина 5 м) Well (depth 5 m)	станция Аять (г. Екатеринбург) Ayat station (Yekaterinburg city)
8	Колодец (глубина 7 м) Well (depth 7 m)	побережье озера Шарташ (г. Екатеринбург) the coast of Lake Shartash (Yekaterinburg city)
9	Скважина Borehole	СНТ «Университет» (Академический микрорайон г. Екатеринбург) HNPP "University" (Academic microdistrict Yekaterinburg city)
10	Скважина Borehole	СНТ «Прогресс» по Сибирскому тракту (г. Екатеринбург) HNPP "Progress" on the Siberian highway (Yekaterinburg city)
11	Колодец «Решётка» (глубина 7 м) Well "Grid" (depth 7 m)	СНТ № 3 по Московскому тракту (г. Екатеринбург) HNPP No. 3 on the Moscow highway (Yekaterinburg city)
12	Скважина Borehole	ул. Уктусская (Чкаловский район г. Екатеринбург) Uktusskaya St. (Chkalovsky district Yekaterinburg city)
13	Скважина Borehole	дер. Мурзинка по Серовскому тракту (г. Екатеринбург) the village of Murzinka along the Serov highway (Yekaterinburg city)
14	Скважина № 1 Borehole No. 1	СНТ «Надежда» по Серовскому тракту (г. Екатеринбург) HNPP "Hope" on the Serov highway (Yekaterinburg city)
15	Скважина № 2 Borehole No. 2	СНТ «Надежда» по Серовскому тракту (г. Екатеринбург) HNPP "Hope" on the Serov highway Yekaterinburg city
16	Скважина Borehole	СНТ «Механизатор» (Чкаловский район г. Екатеринбург) HNPP "Mechanizer" (Chkalovsky district Yekaterinburg city)

Качество воды оценивали по следующим показателям: содержание тяжёлых металлов (меди, свинца, кадмия, никеля и цинка), нитрат-ионов, жёсткость, окисляемость, рН. Исследования проводили методами титриметрии (жёсткость и окисляемость) по методикам определения жёсткости (ГОСТ 31954–2012), пермангантной окисляемости (ГОСТ Р 55684–2013); потенциометрии (рН и содержание нитрат-ионов) по методикам определения рН (ПНД Ф 14.1.2:3.4.121–97), нитратов (РД 52.24.367–2010); инверсионной вольтамперометрии (содержание тяжёлых металлов) по методикам определения меди, свинца и кадмия (ПНД Ф 14.1.2:4.63–96), цинка (ПНД Ф 14.1.2:4.64–96) и никеля (ПНД Ф 14.1.2:4.73–96). Определение массовой концентрации элементов в растворе выполняли методом стандартной добавки. С целью минимизации случайных погрешностей все определения проводили в пяти параллелях. В потенциометрическом анализе использован иономер РХ150 с соответствующими ионоселективными электродами. В инверсионно-вольтамперометрических (ИВА) исследованиях использовали анализатор инверсионный вольтамперометрический по ТУ 4215-001-05828695–95 (НПВП «ИВА», г. Екатеринбург), а также государственные стандартные образцы (ГСО) водных растворов ионов кадмия, меди, свинца, никеля, цинка с концентрацией 1 мг/см<sup>3</sup>. Сущность метода ИВА и его достоинства описаны в [12]. Исследования проводили в лабораториях химического анализа кафедры математических и естественнонаучных дисциплин ФГАОУ ВО РГПУ и кафедры физики и химии ФГАОУ ВО УрГЭУ.

Степень загрязнения грунтовых вод тяжёлыми металлами оценивали по индексу загрязнения  $C_d$ , отражающему совокупное влияние на качество воды нескольких элементов [14]:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi}$$

где  $C_{fi}$  – коэффициент загрязнения  $i$ -м компонентом.

$$C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1,$$

где  $C_{Ai}$  – найденная концентрация  $i$ -го металла в пробе воды;  $C_{Ni}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го металла.

Индекс загрязнения рассматривали только для «проблемных» проб (№ 10, 11, 12, 13), в которых было обнаружено превышение ПДК тяжёлых металлов.

Авторами [5] индекс  $C_d$  предложен в качестве параметра наиболее объективной оценки уровня загрязнения вод тяжёлыми металлами: если  $C_d < 1$ , степень загрязнения низкая; при  $C_d$  от 1 до 3 – средняя (умеренная); при  $C_d > 3$  – высокая.

**Результаты**

Значения рН в исследуемых пробах воды (табл. 2) находились в пределах допустимых значений, реакция среды подземных вод была близка к нейтральной. Превышение допустимых норм жёсткости обнаружено в пробе № 12; окисляемости – в пробах № 9, 12, 13 (табл. 2).

Результаты, представленные в табл. 3, свидетельствуют о сильном загрязнении ряда подземных источников обла-

Таблица 2 / Table 2

Результаты определения некоторых показателей качества проб подземной воды ( $n = 5; p = 0,95$ )

Results of determination of some indicators of the quality of groundwater samples ( $n = 5; p = 0,95$ )

Номер пробы Sample number	Показатели качества / Quality indicators			
	pH	$C_{NO_3^-}$ , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	жёсткость общая, ммоль/дм <sup>3</sup> total hardness, mmol/dm <sup>3</sup>	окисляемость, мг O <sub>2</sub> /л H <sub>2</sub> O oxidizability, mgO <sub>2</sub> /L H <sub>2</sub> O
1	7.80	18.9	4.89	3.98
2	7.70	44.4	3.81	4.54
3	6.90	23.4	3.92	3.56
4	7.10	21.6	2.98	3.61
5	6.64	5.6	2.18	2.80
6	7.76	<b>46.5</b>	4.48	7.40
7	7.38	1.6	1.00	3.57
8	7.34	18.6	3.36	5.00
9	7.15	36.9	4.31	<b>5.98</b>
10	7.12	12.4	3.27	1.22
11	6.95	5.9	3.84	3.06
12	6.85	42.0	<b>12.02</b>	<b>6.12</b>
13	7.25	31.0	4.17	<b>10.39</b>
14	6.88	4.1	1.20	3.40
15	6.92	6.2	1.30	3.80
16	6.89	<b>62.0</b>	5.30	1.40
Нормативные значения Standard values	<b>6–8</b>	<b>45.0</b>	<b>4.0–7.0</b>	<b>5.0</b>

сти свинцом, кадмием и цинком (пробы № 10, 11, 12, 13), причём в пробах № 10 и 11 обнаружено превышение ПДК свинца, кадмия и цинка, в пробах № 12 и 13 – только свинца и цинка (рис. 1).

## Обсуждение

Грунтовые воды Свердловской области включают водоносные зоны различных пород: кремнисто-терригенных (песчаники, кремнистые сланцы), вулканогенных, интрузивных кислого состава (граниты, гранодиориты), интрузивных основного и среднего состава, карбонатных (водо-вмещающими породами служат известняк, мрамор) и др. Во всех перечисленных водоносных зонах залегают безна-

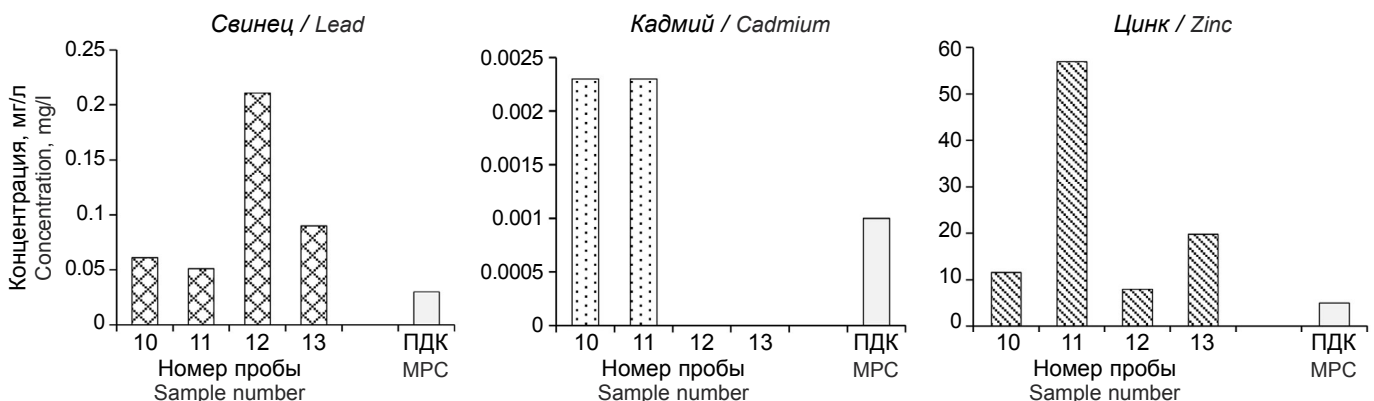


Рис. 1. Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) свинца, кадмия и цинка в пробах №№ 10, 11, 12, 13.

Fig. 1. Excess of maximum permissible concentration (MPC) of lead, cadmium and zinc in samples No. 10, 11, 12, 13.

Таблица 3 / Table 3

Содержание тяжёлых металлов (мкг/дм<sup>3</sup>) в пробах грунтовых вод ( $n = 5; p = 0,95$ )

Heavy metal content ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) in groundwater samples ( $n = 5; p = 0,95$ )

Номер пробы Sample number	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
1	1.3	2.0	–	1.6	6.0
2	28.0	2.0	0.5	2.2	–
3	0.4	24	0.5	4.7	0.3
4	2.0	2.0	0.2	6.0	–
5	0.9	1.0	–	7.4	0.6
6	0.58	2.3	0.1	8.6	0.1
7	0.63	2.6	0.1	3.0	–
8	0.67	0.1	–	7.5	2.2
9	9.0	1.2	–	26.7	–
10	4.0	<b>61</b>	<b>2.3</b>	<b>11 500</b>	–
11	3.0	<b>51</b>	<b>2.3</b>	<b>56 950</b>	0.1
12	61.0	<b>211</b>	0.8	<b>7950</b>	3.0
13	23.0	<b>90</b>	–	<b>19 750</b>	–
14	120.0	0.6	0.1	15.0	–
15	21.0	22	0.4	42.0	21
16	52.0	3.0	0.5	30.0	–
Нормативные значения Standard values	<b>1000</b>	<b>30</b>	<b>1.0</b>	<b>5000</b>	<b>100</b>

порные трещинно-жильные воды [15]. Питание подземных вод области осуществляется преимущественно за счёт инфильтрации атмосферных осадков в тёплое время года. По химическому составу подземные воды относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевым. По степени минерализации это преимущественно пресные воды, по уровню жёсткости они могут быть мягкими и среднежёсткими [16]. Воды содержат разнообразные макро- и микроэлементы, фоновые концентрации которых не превышают ПДК, за исключением железа. Поскольку подземные воды никак не защищены от антропогенного влияния с поверхности земли, вблизи населённых пунктов и промышленных предприятий они загрязнены многими веществами.

**Ограничения исследования:** проанализировано небольшое число проб воды; география отбора проб охватывала не всю область; для оценки качества воды определены не все показатели; в качестве методов исследования выбраны потенциостатический, титриметрический и инверсионно-вольтамперометрический.

Повышенное содержание нитратов обнаружено в пробах № 6, 16, полученных из источников в г. Екатеринбурге, отличительной особенностью которого является наличие большого числа действующих промышленных предприятий и автомобильного транспорта. Содержащиеся в продуктах сгорания топлива оксиды азота окисляются кислородом до диоксида азота, который, взаимодействуя с парами воды в воздухе, выпадает на поверхность земли в виде азотной кислоты. Последняя же в результате растворения различных соединений металлов образует нитраты, которые просачиваются через толщу пород и попадают в подземные воды. Растворимость всех нитратов довольно высока, при этом ни один из компонентов подземных вод не может ограничивать накопление в них  $\text{NO}_3^-$ -ионов, поэтому с увеличением минерализации вод концентрация нитратов всегда возрастает. Среди других источников загрязнения воды нитратами можно отметить кислые стоки промышленных предприятий и минеральные удобрения. Однако в первом случае pH воды должна находиться в диапазоне от 2,0 до 3,0 (что не соответствует результатам наших исследований), во втором – в диапазоне от 6,0 до 8,0 [17]. Очевидно, нитратное загрязнение грунтовых вод из источников № 6 и 16 обусловлено миграцией азотсодержащих удобрений из почвы в гидрохимические системы. Ещё не так давно высокое содержание нитратов обнаруживалось преимущественно в верхних горизонтах грунтовых вод (на глубине до 10 м). Современные исследования показывают, что в местах длительного использования азотных удобрений превышение допустимого уровня нитратов наблюдается на глубине 60–100 м, причём это загрязнение имеет место даже в водах напорных водоносных горизонтов [17]. Результаты геомониторинга Уральского федерального округа свидетельствуют о том, что основными неорганическими соединениями, загрязняющими подземные воды в Свердловской области, являются азотсодержащие вещества [18]. Опасность нитратов обусловлена их канцерогенным воздействием на организм человека (за счёт образования нитрозаминов вследствие биохимических превращений) [7, 19], возникновением метгемоглобиномии – накоплением метгемоглобина, не способного переносить кислород к органам и тканям, в крови (в результате окисления гемоглобина кислородом) [4].

Показатели жёсткости исследованных грунтовых вод, за исключением пробы № 12, не превышали допустимых значений. Повышенная жёсткость пробы воды № 12 обусловлена преимущественно антропогенным фактором: источник находится в районе старой застройки Екатеринбурга, время эксплуатации скважины – более 30 лет. Очевидно, изношенность конструкции способствует проникновению коммунально-бытовых и других стоков в источник водозабора [20]. Последнее согласуется с повышенным значением окисляемости этой пробы. Превышение нормативных значений окисляемости обнаружено также в пробах № 9 и 13. Скважина № 9 находится в черте Екатеринбурга. Учитывая близость плотно заселённого микрорайона и небольшую глубину скважины (20 м), вполне закономерно ожидать проникновения в водоносный горизонт коммунально-бытовых и промышленных стоков, а также сточных вод ливневой канализации, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ), фенолы, смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и другие органические загрязнения.

Скважина № 13 находится в 30 км к северу от Екатеринбурга в д. Мурзинка, в каждом дворе которой есть скважины и сливные ямы. Вблизи этого населённого пункта находится Исетское озеро, имеющее несколько небольших притоков. Водоём активно используется местными жителями, поэтому часть бытовых и канализационных стоков неизбежно попадает в озеро. Другая часть, просачиваясь через почву и горные породы, достигает подземных водоносных горизонтов и загрязняет их. Нами проанализированы пробы воды из разных скважин д. Мурзинки, все они характеризуются повышенным содержанием органических загрязнителей. Особенностью подземных вод этой деревни является сезонный

характер изменения окисляемости: в летне-осенний период значения превышают ПДК от двух до трёх раз, в зимний и весенний периоды окисляемость соответствует нормативным значениям. Очевидно, что при эксплуатации скважин № 9 и 13 не соблюдаются гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения, обязывающие располагать место водозабора на расстоянии более 50 м от различных источников загрязнения и исключить хозяйственное водопользование ближе 20 м от водозаборного устройства [9]. Следует также учесть, что антропогенное загрязнение грунтовых вод происходит не только за счёт инфильтрации поверхностных стоков, но и вследствие перераспределения поверхностных и подземных водных потоков при строительстве и эксплуатации свайных фундаментов, систем водоотведения и водоснабжения [21].

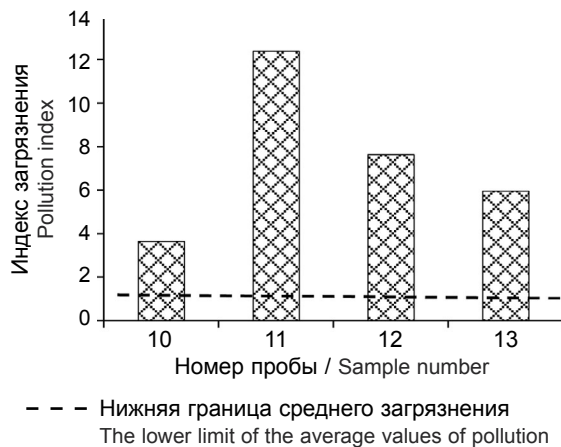
К опасным загрязнениям вод относятся тяжёлые металлы, для которых не существует надёжных механизмов самоочищения [22]. Растворимые соли тяжёлых металлов – не единственная форма их существования в воде. Металлы могут адсорбироваться различными микроорганизмами и донными отложениями либо связываться с органическими соединениями в комплексы. Однако именно катионная форма тяжёлых металлов представляет наибольшую опасность для здоровья человека. Тяжёлые металлы наряду с повышенной жёсткостью воды и избыточным содержанием других токсичных элементов многократно усиливают её негативное воздействие [23–29]. В водах, близких к нейтральным, преобладают катионные формы металлов, что определяет их ионообменную сорбцию глинистыми образованиями (например, по схеме  $\text{Me}^{2+} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ ). Важной особенностью определяемых металлов является многообразие форм их миграции в подземных водах, которая обусловлена такими свойствами, как низкие значения произведения растворимости (ПР) гидроксидов металлов, малая растворимость карбонатов, хорошая растворимость сульфатов и хлоридов (за исключением свинца), склонность к комплексообразованию с лигандами органической и неорганической природы. В результате миграции распространение растворимых форм тяжёлых металлов в подземных водах возможно на расстоянии до 30 км по течению потока.

Медь может проникать в грунтовые воды из различных промышленных отходов, содержащих её как в чистом виде, так и в форме соединений, а также в пестицидами, при коррозии медных труб, при загрязнении воздуха продуктами сгорания топлива, в результате истирания тормозных колодок и легированных поверхностей. Техногенное поступление свинца в объекты окружающей среды обусловлено выхлопными газами автотранспорта, работой предприятий цветной металлургии, мусоросжигательных установок. К основным источникам загрязнения водоносных горизонтов цинком можно отнести месторождения цинковой руды, промышленные сточные воды гальванической промышленности и производства аккумуляторов, отходы предприятий цветной металлургии и горнодобывающей промышленности [30].

Кадмий – металл, сопутствующий цинку; он встречается в цинковой карбонатной и сульфидной руде, а также в отходах при рафинировании других металлов. В грунтовые воды кадмий поступает из разных источников – осадков сточных вод, удобрений, отходов горнодобывающей промышленности. Увеличение содержания кадмия может привести к изменению pH воды за счёт процессов гидролиза его солей.

Загрязнение никелем происходит вследствие проникновения в грунтовые воды отходов металлургических и металлообрабатывающих предприятий. Соединения никеля могут встречаться в шлаках и летучей золе, образующихся при работе установок для сжигания отходов.

Скважина № 10 глубиной 35 м пробурена в СНТ «Прогресс», находящемся неподалёку от ЕКАД и дублёра Сибирского тракта с интенсивным транспортным движением, в 4–5 км от компрессорного завода и в 10 км от аэропорта Кольцово. Продукты сгорания топлива, отходы, образующиеся при работе компрессорного завода, попадают в по-



**Рис. 2.** Сравнение индексов загрязнения «проблемных» проб воды тяжёлыми металлами с нижней границей умеренного загрязнения.

**Fig. 2.** Comparison of pollution indices of "problematic" water samples with heavy metals with the lower limit of moderate pollution.

чву, а затем в результате инфильтрации атмосферных осадков проникают в подземные воды. Аналогичная ситуация с загрязнением воды в колодце «Решётка» (проба № 11), расположенного в д. Решеты между Екатеринбург и Первоуральском. Химический состав грунтовых вод определяется в данном случае такими факторами, как малая глубина колодца (7 м), близость Новомосковского тракта с интенсивным движением автотранспорта и предприятий тяжёлого машиностроения Первоуральска. Загрязнение подземной воды в Решетах цинком превышает нормативное значение почти в 10 раз (рис. 2). Вода скважины № 12 (Екатеринбург) закономерно загрязнена тяжёлыми металлами, особенно свинцом, ввиду большого скопления автотранспорта на дорогах вокруг этого микрорайона. Скважина оборудована без учёта гигиенических требований\*, предполагающих устройство водозаборных сооружений на расстоянии 30 м и более от оживлённых автомагистралей. Выхлопные газы автотранспорта являются едва ли не главным источником загрязнения почв и грунтовых вод свинцом [31]. Многократное превышение ПДК свинца и цинка в грунтовых водах д. Мурзинки обусловлено, вероятно, близостью (6–7 км) действующих предприятий г. Среднеуральска – завода металлоконструкций (СУЗМК «Энерго») и Уральского электродного завода. Причём в последнем случае техногенное воздействие на химический состав подземных вод наблюдается даже с учётом значительной глубины скважины (50 м).

Оценка антропогенного вклада в изменение химического состава грунтовых вод невозможна без учёта фонового содержания в них макро- и микроэлементов. С.Л. Шварцевым [32] приведены кларки ряда элементов в подземных водах разных типов (табл. 4). Поскольку подземные воды Свердловской области преимущественно являются инфильтрационными и залегают в зоне активного водообмена, они могут быть отнесены к водам зоны гипергенеза. Эти воды являются умеренно пресными, нейтральными, гидрокарбонатно-сульфатными кальциево-натриево-магниевыми, умеренно жёсткими [15].

Как следует из табл. 4, в ряде исследованных проб подземной воды найденные концентрации тяжёлых металлов значительно выше фонового содержания.

\* Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Таблица 4 / Table 4

**Среднее содержание некоторых тяжёлых металлов в подземных водах зоны гипергенеза**

The average content of some heavy metals in the groundwater of the hypergenesis zone

Металл / Metal	Среднее содержание в подземных водах, мг/л / Average content in groundwater, mg/l	ПДК, мг/л / Maximum permissible concentration, mg/L	Класс опасности / Hazard class
Cu	0.0056	1.00	2
Cd	0.0003	0.001	1
Ni	0.0033	0.10	2
Pb	0.0022	0.03	2
Zn	0.034	5.00	2

Таблица 5 / Table 5

**Значения коэффициентов ( $C_f$ ) и индексов ( $C_d$ ) загрязнения грунтовых вод тяжёлыми металлами**

Values of pollution coefficients ( $C_f$ ) and indices ( $C_d$ ) of groundwater pollution with heavy metals

Номер пробы / Sample number	$C_f$			$C_d$
	Pb	Cd	Zn	
10	1.04	1.3	1.3	3.64
11	0.7	1.3	10.39	12.39
12	7.03	–	0.6	7.63
13	3	–	2.95	5.95

Как видно из табл. 5, все пробы воды, в которых найденные концентрации тяжёлых металлов превышают ПДК, характеризуются высоким уровнем загрязнения ( $C_d > 3$ ). Для проб № 12 и 13 индексы загрязнения рассчитаны только по концентрациям двух тяжёлых металлов, однако загрязнение является значительным за счёт большого содержания свинца и кадмия. Максимальное загрязнение тяжёлыми металлами наблюдается в пробе воды № 11, на химический состав которой оказывает влияние целый комплекс негативных факторов.

Полученные результаты, безусловно, нельзя считать полными, поскольку они касаются только части подземных источников в Екатеринбурге. Кроме того, нами не определялись такие показатели качества воды, как диоксины, нефтепродукты, нитриты, алюминий, мышьяк, железо, марганец и др. Упоминания о последних трёх элементах как о доминирующих загрязнителях подземных вод Свердловской области присутствуют во многих источниках [11, 15], поэтому в нашем исследовании для оценки качества воды было проанализировано содержание других тяжёлых металлов, но даже при всех перечисленных допущениях было выявлено несоответствие санитарным нормам около 43% исследованных подземных источников.

Значимым фактором загрязнения источников подземных вод является несоблюдение требований к их устройству, содержанию и эксплуатации. В Государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2021 году» [11] отмечается, что в области 82,7% централизованных источников водоснабжения имеют согласованные и утверждённые в установленном порядке проекты зон санитарной охраны (ЗСО). При этом удельный вес проб из этих источников, соответствующих санитарно-химическим показателям, составляет 74,7%. В то же время отвечающих санитарно-токсикологическим требованиям проб воды из 2240 подземных источников нецентрализованного водоснабжения гораздо меньше – 64,41%. Следовательно, наряду с выполнением всех требований по устройству и эксплуатации подземных источников необходимо организовать их ЗСО.

## Заключение

1. Выявлено, что 7 из 16 исследованных подземных источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбург не соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям вследствие загрязнения нитратами, органическими веществами, тяжёлыми металлами (свинцом, цинком, кадмием) и характеризуются повышенной жёсткостью воды.

2. Обнаружено многократное превышение ПДК свинца, кадмия и цинка в трёх подземных источниках. Рассчитанные индексы загрязнения грунтовых вод позволили оценить уровень загрязнения как высокий. Антропогенный характер

загрязнения воды, обусловленный преимущественно близостью автомагистралей и промышленных предприятий к источникам водозабора, в большинстве случаев свидетельствует о несоблюдении требований к выбору местоположения источника, его содержанию и эксплуатации.

3. Поскольку Екатеринбург относится к территории риска по комплексному санитарно-токсикологическому показателю качества питьевой воды, крайне важно поддерживать все источники водоснабжения в состоянии, удовлетворяющем требованиям СанПиН 1.2.3685–21. В связи с этим проекты организации ЗСО должны разрабатываться также и для нецентрализованных подземных источников.

## Литература

(п.п. 4, 5, 14, 20, 23–25, 27–29, 31 см. References)

- Денисов В.В., Кулакова Е.С., Гутенев В.В., Денисова И.А. *Экология города*. Ростов-на-Дону: Феникс; 2015.
- Палкин С.В., Палкин С.С., Рыбникова Л.С. К вопросу о возможности полного водообеспечения города Екатеринбурга подземными водами. *Водное хозяйство России*. 2011; (5): 75–88.
- Коньшина Л.Г. Оценка качества воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга и его окрестностей. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(5): 413–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-5-413-416>
- 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/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003>
- Коньшина Л.Г., Лежнин В.Л. Оценка качества питьевой воды и риска для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(3): 5–10.
- Семенисhev В.С., Титова С.М., Воронина А.В. Определение качества воды в родниках Екатеринбурга и Свердловской области. *Водное хозяйство России*. 2020; (5): 126–38. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-5-8>
- СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.; 2021.
- Липунов И.Н., Первова И.Г., Санакоев В.Н. Водоподготовка подземных вод для создания систем автономного питьевого водоснабжения. *Водное хозяйство России*. 2016; (2): 98–108.
- Региональные особенности состояния санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2021 году (по материалам Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2021 году»). Екатеринбург; 2022.
- Харина Г.В., Алёшина Л.В., Анахов С.В., Инжеватова О.В. Мониторинг качества питьевой воды в Свердловской области России. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2020; (1): 63–73. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2020.25.1.63-73>
- Харина Г.В., Алёшина Л.В. Оценка загрязнения питьевой воды Свердловской области тяжёлыми металлами. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2020; (1): 124–34. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-8>
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV. Объяснительная записка; 2017.
- Гафуров Ф.Г. *Почвы Свердловской области*. Екатеринбург; 2008.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М. *Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты*. М.: ЦЕНТЛитНефтеГаз; 2012.
- Информационный бюллетень о состоянии недр Уральского федерального округа Российской Федерации за 2017 год; 2018.
- Горяев Д.В., Тихонова И.В., Торотенкова Н.Н. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Красноярского края. В кн.: *Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции*. Пермь; 2016: 35–43.
- Пасечник Е.Ю., Лыгин В.А., Савичев О.Г., Чилингер Л.Н., Хвасевская А.А., Чжоу Д. Химический состав родников как индикатор природно-техногенной эволюции городской экосистемы (на примере города Томска, Юго-Восток Западной Сибири). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022; (7): 195–206. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3534>
- Бабкина С.С., Горюнова А.Г., Гатаулина А.Р., Улахович Н.А. Определение и прогнозирование содержания в природной воде ионов тяжёлых металлов. *Ученые записки Казанского университета*. 2013; 155(1): 87–94.
- Боев В.М., Крайнов С.Р., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения моногородов и сельских поселений. *Анализ риска здоровью*. 2017; (2): 57–63. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.2.06>
- Харина Г.В., Алёшина Л.В. Аккумуляция тяжёлых металлов в почвах Свердловской области. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022; 333(2): 173–83. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/2/3330>
- Шварцев С.Л. *Общая гидрогеология*. М.: Недра; 1996.

## References

- Denisov V.V., Kulakova E.S., Gutenev V.V., Denisova I.A. *Ecology of the City [Ekologiya goroda]*. Rostov-na-Donu: Feniks; 2015. (in Russian)
- Palkin S.V., Palkin S.S., Rybnikova L.S. On the issue of possibility of the Ekaterinburg water demand complete satisfaction with groundwater. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2011; (5): 75–88. (in Russian)
- Kon'shina L.G. The assessment of the quality of water from sources of decentralized water supply of Ekaterinburg and surrounding areas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(5): 413–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-5-413-416> (in Russian)
- Mamisheho R., Ramaroso V., D.Ravelomanantsoa S. Assessment of nitrate occurrence in the shallow groundwater of Merimandroso area, Analamanga region, Madagascar using multivariate analysis. *Am. J. Water Res.* 2018; 6(1): 39–47. <https://doi.org/10.12691/ajwr-6-1-5>
- Backman B., Bodis D., Lahermo P., Rapant S., Tarvainen T. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environ. Geology*. 1997; 36: 55–64. <https://doi.org/10.1007/S002540050320>
- Kon'shina L.G. Risk assessment of children's health due to the chemical composition of drinking water sources of the non-centralized water supply of the city of Ekaterinburg. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(9): 997–1003. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003> (in Russian)
- 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 Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(3): 5–10. (in Russian)
- Seменishev V.S., Titova S.M., Voronina A.V. Determination of water quality in springs of Ekaterinburg and Sverdlovsk oblast. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2020; (5): 126–38. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-5-8> (in Russian)
- SanPiN 1.2.3685–21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Moscow; 2021. (in Russian)
- Lipunov I.N., Pervova I.G., Sanakoev V.N. Groundwater treatment for establishment of autonomous drinking water supply systems. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2016; (2): 98–108. (in Russian)
- Regional features of the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Sverdlovsk region in 2021 (based on the materials of the State Report «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Sverdlovsk region in 2021»). Екатеринбург; 2022. (in Russian)
- Kharina G.V., Aleshina L.V., Anakhov S.V., Inzhevatoва O.V. Monitoring drinking water quality in the Sverdlovsk region of Russia. *Voda i ekologiya: problema i resheniya*. 2020; (1): 63–73. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2020.25.1.63-73> (in Russian)
- Kharina G.V., Aleshina L.V. Assessment of the sverdlovsk oblast drinking water pollution with heavy metals. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problema, tekhnologii, upravlenie*. 2020; (1): 124–34. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-8> (in Russian)
- Biswas P.K., Uddin N., Alam S., Sultana S., Ahmed T. Evaluation of heavy metal pollution indices in irrigation and drinking water systems of Barapukuria coal mine Area, Bangladesh. *Am. J. Water Res.* 2017; 5(5): 146–51. <https://doi.org/10.12691/AJWR-5-5-2>
- State Geological Map of the Russian Federation. Second edition. The Sredneural'skaya series. Sheet O-41-XXV. Explanatory Note; 2017. (in Russian)
- Gafurov F.G. *Soils of the Sverdlovsk Region [Pochvy Sverdlovskoy oblasti]*. Ekaterinburg; 2008. (in Russian)

17. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geochemistry of Groundwater. Theoretical, Applied and Environmental Aspects [Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty]*. Moscow: CentrLitneftegaz; 2012. (in Russian)
18. Newsletter on the state of the subsoil of the Ural Federal District of the Russian Federation for 2017; 2018. (in Russian)
19. Goryaev D.V., Tikhonova I.V., Torotenkova N.N. Hygienic assessment of drinking water quality and risks to the health of the population of the Krasnoyarsk Territory. In: *Actual Problems of Safety and Analysis of Public Health Risk Under the Influence of Environmental Factors. Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference [Aktual'nye problemy bezopasnosti i analiza riska zdorov'yu naseleniya pri vozdeystvii faktorov srede obitaniya. Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Perm'; 2016: 35–43. (in Russian)
20. Nzeket A.B., Moyo K.B., Aboubakar A., Youdom Y.A.S., Moussima Y.D.A., Zing Z.B., et al. Assessment of physicochemical and heavy metal properties of groundwater in Edéa (Cameroon). *Am. J. Water Res.* 2019; 7(1): 1–10. <https://doi.org/10.12691/ajwr-7-1-1>
21. Pasechnik E.Yu., L'gotin V.A., Savichev O.G., Chilinger L.N., Khvashchevskaya A.A., Zhou Dan. Chemical composition of springs as an indicator of natural-technogenic evolution of the urban ecosystem (on the example of Tomsk city, south-east of western Siberia). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov.* 2022; (7): 195–206. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3534> (in Russian)
22. Babkina S.S., Goryunova A.G., Gataulina A.R., Ulakhovich N.A. Determination and prediction of the content of heavy metal ions in natural water. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta.* 2013; 155(1): 87–94. (in Russian)
23. Singh U.K., Ramanathan A.L., Subramanian V. Groundwater chemistry and human health risk assessment in the mining region of East Singhbhum, Jharkhand, India. *Chemosphere.* 2018; 204: 501–13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.060>
24. Adamu I.H., Mubarak A., Muhammed G.H., Mohammed A.I., Hassan H. Physico-chemical assessment of water quality in the Gidan Gulbi shallow floodplain aquifer, Northwestern Nigeria. *Am. J. Water Res.* 2020; 8(4): 155–63. <https://doi.org/10.12691/ajwr-8-4-1>
25. Al-Aizari H., Achaoucha A., Fadlib M., Al-Kadsec F. Analytical groundwater contamination by heavy metal. *App. J. Environ. Eng. Sci.* 2018; 4(3): 299–308. <https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/ajeess-v4i3.11254>
26. Boev V.M., Kryazhev D.A., Tulina L.M., Neplokhov A.A. Assessment of carcinogenic health risk for population living in monocities and rural settlements. *Analiz riska zdorov'yu.* 2017; (2): 54–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.2.06.eng> (in Russian)
27. Imbulana S., Oguma K. Groundwater as a potential cause of Chronic Kidney Disease of unknown etiology (CKDu) in Sri Lanka: a review. *J. Water Health.* 2021; 19(3): 393–410. <http://doi.org/10.2166/wh.2021.079>
28. Patel S.V., Khatri N., Chavda P., Jha A.K. Potential health concerns due to elevated nitrate concentrations in groundwater of villages of Vadodara and Chhota Udaipur districts of Gujarat, India. *J. Water Health.* 2022; 20(1): 227–45. <https://doi.org/10.2166/wh.2021.160>
29. Wasana H., Perera G., Gunawardena P., Fernando P., Bandara J. WHO water quality standards vs synergic effect(s) of fluoride, heavy metals and hardness in drinking water on kidney tissues. *Sci. Rep.* 2017; 7(1): 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep42516>
30. Kharina G.V., Aleshina L.V. Accumulation of heavy metals in the soils of the Sverdlovsk region. *Inzhiniring georesursov.* 2022; 333(2): 173–83. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/2/3330> (in Russian)
31. Ravisankar T., Rao Ptsrk P. Trace Analysis of Heavy Metals in Ground Waters of Vijayawada Industrial Area. *Int. J. Environ. Sci. Education.* 2016; 11(10): 3215–29.
32. Shvartsev S.L. *General Hydrogeology [Obshchaya gidrogeologiya]*. Moscow: Nedra; 1996.