

УДК 544.23.022, 544.478.02

DOI: 10.15372/ChUR2024611

EDN: TAATAF

Гидрогеохимический мониторинг водозабора Новосибирского научного центра

А. Ф. СУХОРУКОВА^{1,2}, Н. А. ПЛАКСИНА³, А. А. МАКСИМОВА^{1,2}, Н. И. ЯНДОЛА^{1,2}¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия

E-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Новосибирск, Россия³ФГУП “Управление энергетики и водоснабжения”,
Новосибирск, Россия

(Поступила 04.07.2024; после доработки 19.08.2024; принята к печати 25.09.2024)

Аннотация

Анализ данных химического состава подземных вод водозабора на территории Новосибирского научного центра за длительный период эксплуатации (1958–2023 гг.), в том числе полученных лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, свидетельствует о стабильности макрокомпонентного состава подземных вод. В работе представлены результаты многолетнего гидрогеохимического мониторинга подземных вод участка “Береговой-1”, который снабжает большую часть верхней зоны Академгородка, и участка “Зырянка”, поставляющего воду в коттеджную зону Академгородка, включая улицы Академическая, Золотодолинская, поселки Кирова и Геологов. Дана оценка качества воды на основе действующих в России санитарных правил и норм, государственных стандартов и критериев, которые применяются в настоящее время за рубежом. Воды этих участков гидрокарбонатные магниевые с минерализацией в диапазоне значений 200–400 мг/дм³, общей жесткостью от 3.8 до 7.7 мг-экв/дм³. Характерной особенностью вод инфильтрационного водозабора участка “Береговой-1” является высокое содержание железа (0.11–7.14 мг/дм³), что больше предельно допустимой концентрации (ПДК) в 5–20 раз, а также концентрация марганца (0.12–0.61 мг/дм³), превосходящая ПДК в отдельные годы до 8 раз. Практически постоянно отмечается незначительное превышение концентрации мышьяка, в отдельные годы фиксировались значения в два и более раз выше ПДК. Такой состав вод участка “Береговой-1” предопределяет обязательную водоподготовку перед подачей населению. Воды участка “Зырянка” соответствуют санитарным нормам по качеству, за исключением показателя по радону, концентрация которого может достигать 130 Бк/дм³.

Ключевые слова: гидрогеохимический мониторинг, оценка качества подземных вод, концентрация железа, марганца, радона, водозабор Новосибирского научного центра

ВВЕДЕНИЕ

Новосибирск – один из крупнейших по численности населения (1635 тыс. человек) и площади городов России. Водоснабжение большей его части осуществляется пятью насосно-филь-

тровальными станциями из реки Обь. В конце 1950-х годов было принято решение о создании новосибирского Академгородка, расположенного удаленно (на расстоянии 25 км) от центра города. Тогда же был разработан и реализован проект водозабора на правом берегу одноимен-



Рис. 1 Местоположение скважин (скв.) водозаборов “Береговой-1” и “Зырянка” Новосибирского научного центра.

ного водохранилища, состоящий из двух участков: “Береговой-1” и “Зырянка” (рис. 1). Подземные воды всегда рассматривались как лучший источник чистой воды для питьевого водоснабжения населения, но при этом обязательно проводится оценка их геохимических особенностей и видов возможного загрязнения [1–3].

В нормативных документах по качеству воды в России и рекомендациях Всемирной организации здравоохранения отмечается, что питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и при этом должна характеризоваться благоприятными органолептическими свойствами [4, 5]. Необходимо отметить, что российские нормативы на воду жестче, чем международные стандарты качества. В настоящее время во многих странах мира разрабатываются новые подходы оценки качества воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения по различным коэффициентам загрязнения, которые рассчитываются, исходя из полного химического анализа воды [6–8]. Оценивается потенциальная соленость вод (potential salinity, PS); остаточное содержание карбоната натрия (residual sodium carbonate, RSC); бикарбоната натрия (residual sodium bicarbonate; RSCB); коэффициент коррозии (corrosion Rate, CR); коэффициент Келли (Kelly ratio, KR), показывающий пригодность вод для питьевых целей; и некоторые другие. Для оценки загрязнения природных вод тяжелыми металлами (ТМ) используется индекс HEI (heavy metal evaluation index), ко-

торый представляет собой качество природных вод в отношении содержания ТМ [9].

Изучение территории, на которой расположен водозабор Новосибирского научного центра, началось в конце 40-х годов прошлого века в связи со строительством Новосибирской ГЭС, а с конца 50-х годов эти работы вела Боровая партия Новосибирской геолого-поисковой экспедиции (НГПЭ). В 1957 г. была пробурена первая эксплуатационная скважина действующего ныне водозабора, начато изучение строения песчано-галечникового водоносного горизонта, проведены режимные наблюдения, оценивались водные запасы. В период 1958–1962 гг. трест “Трансводстрой” пробурил еще 15 скважин, которые стали основой действующего водозабора. Большой вклад в изучение гидрогеологических условий территории, оценку качества и запасов подземных вод для питьевого водоснабжения внесли новосибирские гидрогеологи – С. Г. Бейром, И. П. Карпицкий, А. Д. Примачек, В. А. Филиппов, Л. Н. Косс, В. А. Корявова, С. А. Вязунова, В. С. Кусковский, Г. П. Тарасов, Н. А. Пласина и многие другие. В 1990-е годы была реализована программа “Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН”. Сотрудниками Новосибирского института органической химии СО РАН В. Ф. Стариченко и С. В. Морозовым оценивалась загрязненность питьевых вод пестицидами, нефтепродуктами, фенолами. В течение 1990–1994 гг. систематически изучалась распространенность ТМ в водозаборах Новосибирского научного центра геохимиками Объединенного института геологии геофизики и минералогии СО РАН Г. Н. Аношиным и Б. А. Воротниковым. Было установлено существенное превышение ПДК для железа, марганца, незначительное – для бария и мышьяка [10].

Для расширения водозабора с начала 1980-х годов Гидрогеологическая партия НГПЭ проводила поиски подземных вод комплексов террасовых отложений р. Оби и подстилающих трещинных пород палеозоя. Основная часть водозабора Новосибирского научного центра (участок “Береговой-1”) является инфильтрационной и представляет собой ряд скважин вблизи береговой линии водохранилища. Расстояние от скважин до уреза воды не превышает 200 м, длина водозаборного ряда скважин – 1200 м. Ближайшее расстояние от скважин водозабора до водопотребителя, т. е. Академгородка, составляет 850 м. Прибрежная полоса водохранилища шириной до 1 км покрыта сосновым бором и является

зоной отдыха горожан. В непосредственной близости к водозабору располагается пляж, который вытянут по всему берегу водохранилища. Кустовой водозабор подземных вод участка “Зырянка” состоит из трех скважин, расположенных в долине р. Зырянка на расстоянии 1.3 км от берега водохранилища (см. рис. 1).

В геологическом отношении район расположен в пределах области погружения Колывань-Томской складчатой зоны. В ее строении принимают участие породы юргинской свиты верхнедевонского возраста и залегающего на них комплекса четвертичных отложений надпойменных террас р. Оби. Геологическое строение характеризуется относительно близким залеганием палеозойского фундамента (от 33 до 45 м) и наличием песчано-гравийных аллювиальных отложений р. Оби. Палеозойские отложения представлены глинистыми сланцами юргинской свиты, которые разбиты многочисленными тонкими трещинами, мощность зоны интенсивной трещиноватости достигает 25 м [11]. К отложениям юргинской свиты приурочены трещинные воды. На большей части территории долины р. Оби, где отсутствует кора выветривания, подземные воды палеозойских пород гидравлически связаны с подземными водами аллювиальных отложений и эксплуатируются совместно. Питание трещинных вод палеозоя осуществляется как за счет инфильтрации атмосферных осадков, так и поступления поверхностных вод из водохранилища [11].

Водозабор участка “Береговой-1” расположен на IV надпойменной террасе р. Оби, литологический состав отложений которой неоднороден как в вертикальном, так и горизонтальном разрезах, и представлен в основном разнородными песками мощностью от 6 до 15 м (рис. 2, а). Водозабор “Зырянка” расположен на III надпойменной террасе р. Оби со схожим строением (см. рис. 2, б). Эксплуатационные скважины обоих участков вскрывают девонские глинистые сланцы. Для участка “Зырянка” характерно наличие глинистой мел-палеогеновой коры выветривания мощностью от 2 до 18 м.

Цель работы – гидрогеохимический мониторинг водозабора Новосибирского научного центра от начала эксплуатации до наших дней.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

С начала эксплуатации водозабора проводилась оценка качества подземных вод для цен-

трализованного питьевого водоснабжения и режимные наблюдения за уровнем вод, выполнялась переоценка запасов различными гидрогеологическими партиями НГПЭ. В настоящей работе использованы материалы Территориального фонда геологической информации по Сибирскому федеральному округу и ФГУП “Управление энергетики и водоснабжения” (ФГУП УЭВ) г. Новосибирска, включающие: 972 анализа химического состава воды для водозабора “Береговой-1”, 175 анализов для водозабора “Зырянка”, более 127 замеров суммарных α - и β -активностей, 102 замера концентрации радона. За длительный период эксплуатации вода анализировалась химико-бактериологической лабораторией ГУП “УЭВ СО РАН”, Аналитико-технологическим центром ОАО “Новосибирская геолого-поисковая экспедиция”, Аналитическим центром Института геологии и минералогии (ИГМ) СО РАН, аналитической лабораторией Института неорганической химии СО РАН, а в последние годы – ФБУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии в Новосибирской области”.

В течение 2023 г. сотрудниками лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН были отобраны пробы вод (четыре пробы в год) трех действующих скважин. Во время отбора проб непосредственно на объектах было выполнено определение быстроизменяющихся параметров: pH (водородный показатель), Eh (окислительно-восстановительный потенциал), температуры, содержания растворенного O_2 , HCO_3^- , радона. Измерение содержания радона в природных водах проводилось на комплексе “Альфарад плюс” (ООО “НТМ-ЗАЩИТА”, Россия). Комплекс предназначен для экспрессных измерений и непрерывного мониторинга эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) и объемной активности (ОА) ^{222}Rn в воздухе, его содержания в пробах воды и почвенного воздуха, а также измерений плотности потока с поверхности грунта. Диапазон измерения ЭРОА радона составляет $1.0-10^6$ Бк/м³ с погрешностью ± 30 %, диапазон измерения ОА в воздухе – $2.0-10^6$ Бк/м³ с погрешностью ± 20 %, а в воде – от 6 до 800 Бк/дм³ с погрешностью ± 30 %. Последующее лабораторное изучение полного химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-исследовательской

лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета. Для определения состава образования на фильтрующем материале в

ИГМ СО РАН был выполнен силикатный анализ методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии с помощью спектрометра ARL 9900XP (Termo Fisher Scientific, Швейцария)

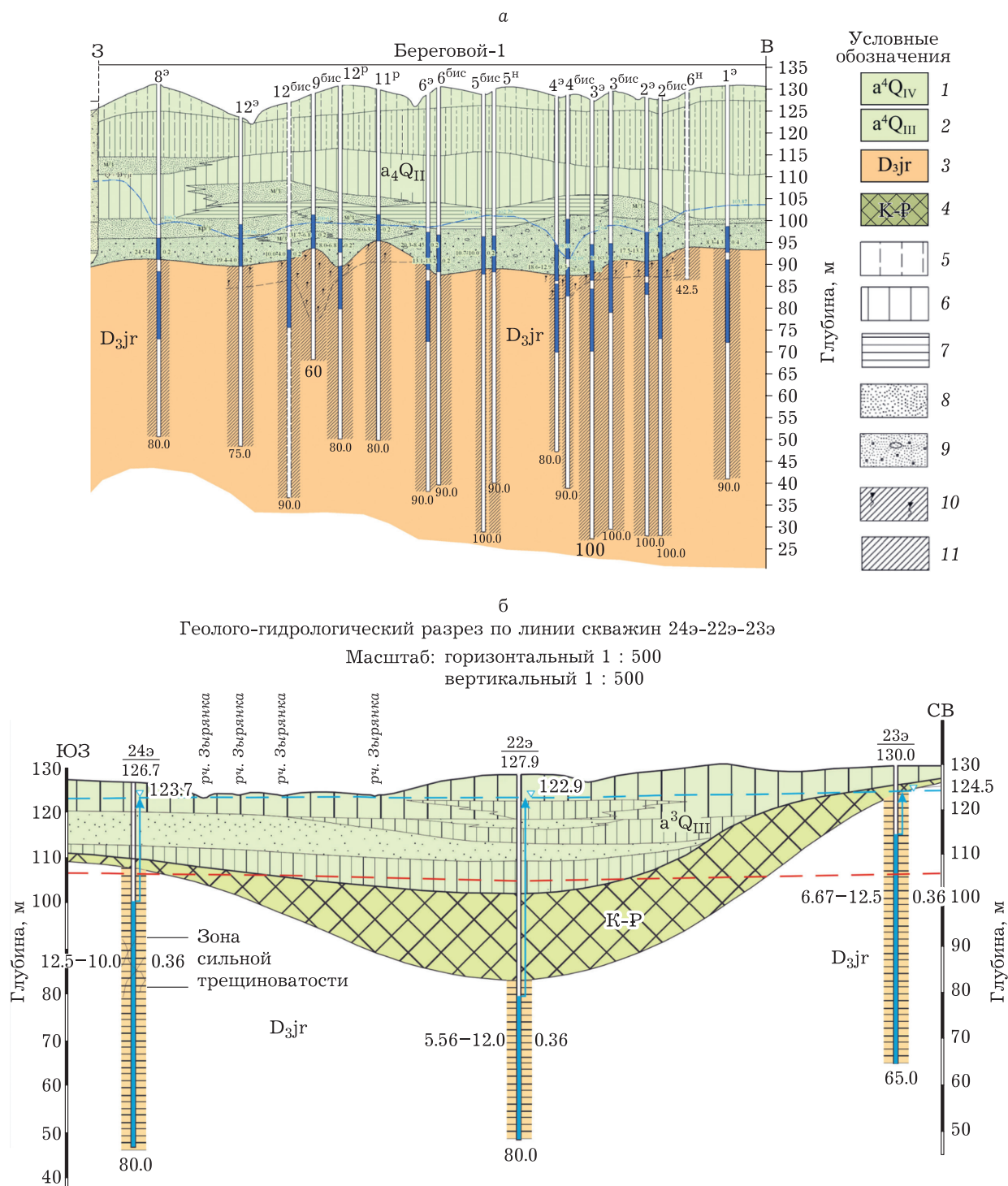


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы водозаборов “Береговой-1” (а) и “Зырянка” (б): водоносные горизонты (1, 2, 3) IV надпойменной террасы, III надпойменной террасы р. Оби, осадочно-терригенных пород юргинской свиты соответственно; мел-палеогеновая кора выветривания (4); супеси (5); суглинки (6); глины (7); пески (8); гравийно-галечниковые отложения (9); глинистые сланцы сильно разрушенные (10); глинистые сланцы трещиноватые (11). Обозначения: З, В, ЮЗ, СВ – запад, восток, юго-запад, северо-восток соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимическая характеристика подземных вод

Исследуемые подземные воды размещаются в гидродинамической зоне активного водообмена, глубина которой в границах характеризуемого района оценивается в 80–100 м. Для зоны активного водообмена характерно растворение и выщелачивание алюмосиликатных пород (песчано-глинистых сланцев верхнего палеозоя). По химическому составу воды участков – гидрокарбонатные магниево-кальциевые, отмечается тенденция увеличения суммарной концентрации сульфат- и хлорид-ионов для вод “Зырянки” (рис. 3). Общая минерализация подземных вод изменяется преимущественно в диапазоне 200–400 мг/дм³.

На участке “Береговой-1” изучены гидрогеохимические данные по 972 пробам за период эксплуатации водозабора 1958–2023 гг. Органолептические показатели качества вод не соответствуют нормативным требованиям по запаху

(сероводород), а также мутности и цветности, что обусловлено высоким содержанием в подземных водах железа и марганца. Величина сухого остатка составляет 180–475 мг/дм³. Общая жесткость воды варьирует в диапазоне 4.1–6.1 мг-экв/дм³. Величина pH (7.19–7.79) характеризует слабощелочную реакцию среды.

В процессе отбора проб воды в 2023 г. непосредственно на месте замерялись быстроизменяющиеся параметры. Показатель Eh менялся в интервале 55.5–79.8 мВ, что соответствует восстановительной геохимической среде, для которой характерно наличие сероводорода, повышенное содержание железа и марганца. Результаты многолетних наблюдений это подтверждают. Содержание железа существенно превышает ПДК и составляет 0.11–7.14 мг/дм³, концентрация марганца фиксируется в пределах 0.12–0.61 мг/дм³, что также выше предельно допустимых значений. Из триады азотистых веществ – иона аммония, нитрит-иона, нитрат-иона, в значимых количествах отмечается на-

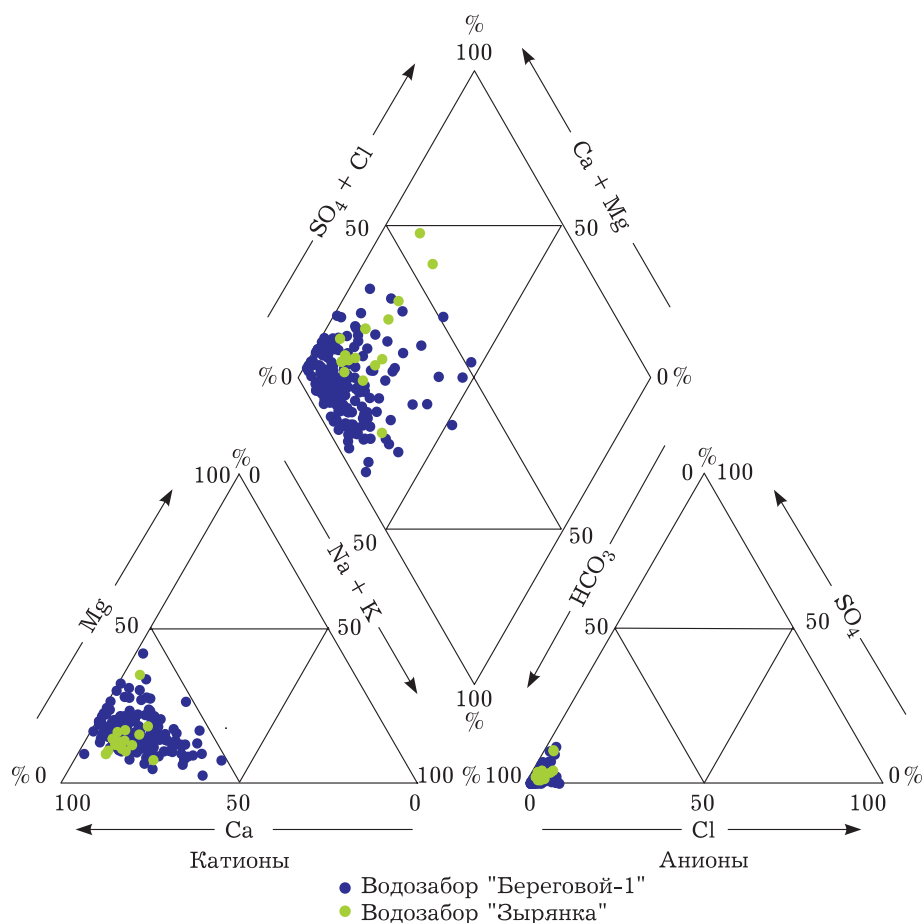


Рис. 3. Диаграмма Пайпера химического состава подземных вод водозаборов “Береговой-1” и “Зырянка”.

ТАБЛИЦА 1

Химический состав подземных вод водозаборов “Береговой-1” (скважины 3э и 9бис) и “Зырянка” (скважина 24э)

Показатель	Подземные воды						ПДК СанПиН [4]
	“Береговой-1”				“Зырянка”		
	Скважина 3э		Скважина 9бис		Скважина 24э		
	1958–2022 гг.	2023 г.	1983–2022 гг.	2023 г.	2000–2022 гг.	2023 г.	
pH	<u>7.19–7.68</u> 7.34 (137)	<u>7.55–7.68</u> 7.63 (4)	<u>7.21–7.79</u> 7.50 (66)	<u>7.65–7.69</u> 7.70 (4)	<u>6.85–7.92</u> 7.50 (68)	<u>7.55–7.64</u> 7.59(4)	6–9
Общая жесткость, мг-экв/дм³	<u>4.1–6.1</u> 5.8 (134)	<u>4.3–5.9</u> 5.2 (4)	<u>3.8–5.4</u> 4.1 (66)	<u>4.3–5.7</u> 4.7 (4)	<u>5.8–7.7</u> 6.7 (64)	<u>6.5–7.1</u> 6.7 (4)	7
Химический состав, мг/дм³:							
HCO ₃ [–]	<u>252.4–474.4</u> 370.4 (65)	<u>250.0–348.2</u> 312.6 (4)	<u>210.3–351.6</u> 270.8 (9)	<u>250.5–354.1</u> 290.6 (4)	<u>402.0–488.0</u> 448.0 (7)	<u>397.1–403.3</u> 400.7 (4)	Н. д.
SO ₄ ^{2–}	<u>0.0–41.0</u> 6.3(125)	<u>3.1–5.6</u> 4.1(4)	<u>3.6–16.0</u> 8.8(66)	<u>3.0–4.8</u> 4.0 (4)	<u>5.1–49.4</u> 10.7 (64)	<u>15.6–19.0</u> 16.9 (4)	500
Cl [–]	<u>1.9–19.7</u> 7.7(1255)	<u>4.0–6.2</u> 5.2 (4)	<u>1.9–12.2</u> 7.7(66)	<u>4.0–6.6</u> 5.0 (4)	<u>6.0–49.4</u> 11.2 (64)	<u>2.5–21.2</u> 14.4 (4)	350
Ca ²⁺	<u>57.2–90.5</u> 80.9(65)	<u>64.5–85.5</u> 78.2 (4)	<u>52.3–65.1</u> 60.1 (9)	<u>67.0–85.5</u> 73.8 (4)	<u>42.1–120.1</u> 96.7 (7)	<u>99.0–107.4</u> 103.7 (4)	Н. д.
Mg ²⁺	<u>13.2–35.6</u> 19.8(65)	<u>13.0–20.1</u> 15.7 (4)	<u>12.8–26.1</u> 18.0 (9)	<u>10.4–17.1</u> 13.2	<u>12.2–53.6</u> 22.3 (7)	<u>16.6–21.4</u> 19.0	Н. д.
Na ⁺ + K ⁺	<u>0.9–46.6</u> 16.9 (65)	<u>7.6–11.1</u> 8.9 (4)	<u>0–9.5</u> 5.3	<u>7.0–9.3</u> 7.6	<u>8.8–32.0</u> 20.3 (7)	<u>12.1–15.3</u> 14.4	Н. д.
M	<u>232–473</u> 334 (137)	<u>344–473</u> 426 (4)	<u>180–365</u> 236 (66)	<u>345–475</u> 395	<u>237–769</u> 406 (65)	<u>551–589</u> 569	1000
NH ₄ ⁺	<u>0.3–4.4</u> 1.2 (137)	<u>0.6–1.2</u> 0.8 (4)	<u>0.4–3.6</u> 1.2 (66)	<u>0.3–0.9</u> 0.6 (4)	<u>0.05–2.88</u> 0.69 (55)	<u>0.05–2.88</u> 0.05 (4)	1.5
NO ₂ [–]	<u>0.003–0.15</u> 0.11 (137)	<u>0.02–0.24</u> 0.02 (4)	<u>0.001–0.062</u> 0.03 (66)	<u>0.02–0.28</u> 0.02 (4)	<u>0.003–1.00</u> 0.08 (65)	<u>0.02–0.21</u> 0.02 (4)	3.3
NO ₃ [–]	<u>0.0–3.54</u> 0.84 (137)	<u>0.10–0.24</u> 0.19 (4)	<u>0.1–1.2</u> 0.34 (66)	<u>0.09–0.28</u> 0.17 (4)	<u>0.05–7.0</u> 2.66 (65)	<u>0.84–2.40</u> 1.87 (4)	45
F [–]	<u>0.01–0.62</u> 0.30 (101)	<u>0.21–0.28</u> 0.21 (4)	<u>0.11–0.38</u> 0.31 (52)	<u>0.18–0.25</u> 0.22	<u>0.1–1.11</u> 0.24 (55)	<u>0.18–0.21</u> 0.20	1.5
Si	<u>4.7–10.3</u> 8.4 (25)	<u>6.8–8.3</u> 7.5 (4)	<u>6.3–7.4</u> 4.7 (2)	<u>6.3–7.4</u> 6.7	<u>5.9–6.6</u> 6.3 (2)	<u>5.9–6.6</u> 6.3 (4)	10
Mn	<u>0.17–0.61</u> 0.48 (98)	<u>0.21–0.35</u> 0.29 (4)	<u>0.12–0.44</u> 0.36 (66)	<u>0.26–0.36</u> 0.30 (4)	<u>0.01–0.35</u> 0.17 (61)	<u>0.00–0.13</u> 0.07 (4)	0.1
Fe	<u>0.21–7.14</u> 3.50 (130)	<u>0.11–1.95</u> 1.15 (4)	<u>0.66–4.85</u> 2.93 (66)	<u>0.14–1.13</u> 0.73 (4)	<u>0.03–0.32</u> 0.19 (68)	<u>0.11–0.27</u> 0.17 (4)	0.3
Zn	<u>0.001–0.141</u> <0.005 (72)	<u>0.001–0.141</u> 0.048 (4)	<u>0.001–0.141</u> <0.005 (25)	<u>0.000–0.001</u> 0.0006 (4)	<u>0.001–0.004</u> <0.005 (47)	<u>0.001–0.004</u> 0.002 (2)	1
Cu	<u>0–0.026</u> 0.015 (72)	<u>0.0001–0.002</u> 0.0008 (4)	<u>0.0–1.1</u> 0.02 (25)	<u>0.000–0.0007</u> 0.0003 (4)	<u>0.0001–0.03</u> 0.02 (32)	<u>0.0004–0.003</u> 0.001 (4)	1
As	<u>0.001–0.022</u> 0.015 (98)	<u>0.01–0.21</u> 0.018 (4)	<u>0.0–0.026</u> 0.021 (25)	<u>0.01–0.020</u> 0.016	<u>0.0006–0.0008</u> 0.005 (51)	<u>0.0006–0.0008</u> 0.0006 (4)	0.01
Al	<u>0.0–0.04</u> 0.01(98)	<u>0.0005–0.0009</u> 0.0007 (4)	<u>0.0–0.04</u> 0.02 (31)	<u>0.0001–0.0014</u> 0.0006 (4)	<u>0.01–0.06</u> 0.015 (51)	<u>0.001–0.0028</u> 0.0017 (4)	0.2
B	<u>0.01–0.08</u> 0.05(98)	<u>0.046–0.092</u> 0.068 (4)	<u>0.0–0.12</u> 0.05 (25)	<u>0.031–0.070</u> 0.051 (4)	<u>0.005–0.18</u> 0.09 (52)	<u>0.013–0.067</u> 0.039 (4)	0.5
Ba	<u>0.01–0.10</u> 0.08 (75)	<u>0.075–0.104</u> 0.086 (4)	<u>0.02–0.08</u> 0.08(16)	<u>0.073–0.094</u> 0.09 (4)	<u>0.018–0.023</u> 0.01 (3)	<u>0.018–0.023</u> 0.021 (4)	0.7
Hg	<0.0002 (31)	<0.0001 (4)	<0.0001 (4)	<0.0001 (4)	0.0007 (1)	<0.0001 (4)	0.0005
U	Н. д.	0 (4)	Н. д.	<u>0–0.00011</u> 0.00063 (4)	Н. д.	<u>0.0037–0.0045</u> 0.0040 (4)	0.015
П. ок., мг O ₂ /дм³	<u>1.2–6.6</u> 3.2 (137)	<u>1.51–2.32</u> 1.98 (4)	<u>0.3–4.9</u> 2.2 (66)	<u>1.53–2.33</u> 1.78 (4)	<u>0.64–5.4</u> 1.77 (65)	<u>0.29–0.67</u> 0.45 (4)	5

Таблица 1 (Окончание)

Показатель	Подземные воды						ПДК СанПиН [4]
	“Береговой-1”				“Зырянка”		
	Скважина 3э		Скважина 9бис		Скважина 24э		
	1958–2022 гг.	2023 г.	1983–2022 гг.	2023 г.	2000–2022 гг	2023 г.	
²²² Rn, Бк/дм³	<u>4–12</u> 8 (4)	<u>8–33</u> 22 (4)	<u>12–26</u> 185(3)	<u>9–47</u> 28 (4)	<u>48–104</u> 63(48)	<u>66–130</u> 88 (4)	60
α-Активность, Бк/дм³	<u>0.0–0.02</u> 0.07 (45)	Н. д.	<0.01 (14)		<u>0.04–0.19</u> 0.09 (44)	Н. д.	0.2
β-Активность, Бк/дм³	<u>0.0–0.02</u> 0.02 (45)	0.02 (1)	0.01 (14)	0.01 (1)	<u>0.02–0.62</u> 0.24 (44)	0.27 (1)	1.0

Примечания. 1. М – величина общей минерализации; п. ок. – перманганатная окисляемость (содержание органических веществ). 2. Н. д. – нет данных. 3. Числитель – минимальное и максимальное значения, знаменатель – среднее значение, в скобках – количество определений; жирный шрифт – значения, превышающие ПДК.

личие иона-аммония (в среднем 1.2 мг/дм³). В качестве показателя, характеризующего содержание органических веществ в воде, использована величина перманганатной окисляемости, которая варьирует в диапазоне 0.3–6.6 мг О₂/дм³. Анализ изменения качества воды за многолетний период и результатов за 2023 г. говорит о том, что значительных изменений в составе подземных вод с начала эксплуатации скважинного водозабора и по состоянию на сегодняшний день не прослеживается (табл. 1). Для анализа использовались данные по наиболее водобильной скважине 3э с самым длительным периодом гидрогеохимических наблюдений и вносящей наиболее заметный вклад в объем суммарного водотока (60 %), а также по скважине 9бис.

На участке “Зырянка” органолептические показатели качества воды соответствуют нормативным требованиям по запаху, цветности и мутности и характеризуются хорошими вкусовыми качествами, что обусловлено, в первую очередь, низким содержанием в них железа. Величина сухого остатка (237–769 мг/дм³) несколько выше, чем для участка “Береговой-1”. Общая жесткость воды близка к верхней границе ПДК и фиксируется в диапазоне 5.8–7.7 мг-экв/дм³, рН (6.85–7.92) соответствует реакции среды от слабокислой до слабощелочной, Eh (78–191 мВ) характерен для окислительной среды, содержание железа в пробах составляет 0.03–0.32 мг/дм³. Из группы азотистых веществ (иона аммония, нитрит-иона, нитрат-иона) в заметных количествах определяются ион аммония (0.05–2.88 мг/дм³) и нитрат-ион (0.05–7.0 мг/дм³). По результатам лабораторных исследований, повышенное содержание нитрат-иона начали фиксировать с 2008 г., в период работы водозабора с максимальным водоотбором. Перманганатная окисляемость подземных вод изменяется в преде-

лах 0.29 – 5.4 мг О₂/дм³. За период 1981–2023 гг. качество подземных вод остается стабильным (см. табл. 1).

Радионуклидный состав подземных вод водозаборов

Радиационная безопасность подземных вод и их насыщенность радионуклидами как в пластовых условиях – в скважинах, так и в разводящей сети, оценивалась по показателям удельной суммарной α - и β -активности и содержанию радона (рис. 4, а и б). Показатели α - и β -активности по водозабору “Береговой-1” и “Зырянка” не превышают ПДК. Концентрация радона для участка “Береговой-1” определялась редко в отдельные годы, в 2023 г. было произведено четыре замера непосредственно на скважинах, и сразу после отбора проб концентрация радона варьировала от 8 до 47 Бк/дм³. Для водозабора участка “Зырянка” повышенное содержание радона является характерной особенностью, его концентрация в среднем не превышает 85 Бк/дм³ при максимальных значениях 130 Бк/дм³. Полученные данные подтверждаются более ранними исследованиями [12, 13]. В воде, подаваемой потребителям водозабора “Зырянка”, концентрация радона не превышает 55 Бк/дм³. Разводящая сеть является пусть и примитивной, но системой водоподготовки, позволяющей снизить концентрацию радона в подземных водах, что обусловлено коротким периодом полураспада радона (3.8 сут).

Тяжелые металлы в водах

Как уже обсуждалось выше, в 90-е годы прошлого века проводилась систематическая работа по оценке загрязненности питьевых и природных вод ТМ [10]. Установлено существенное превы-

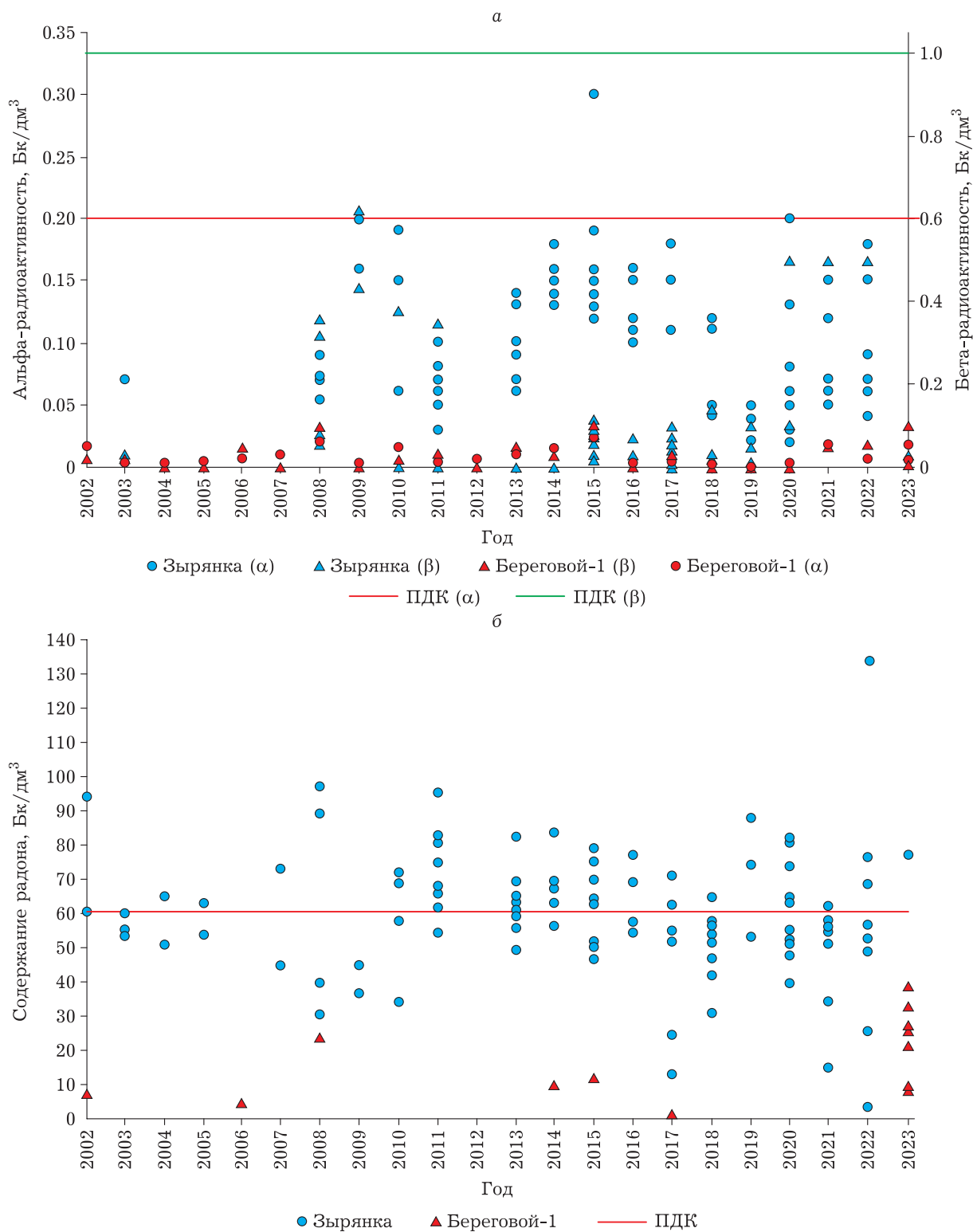


Рис. 4. Радионуклидный состав подземных вод водозаборов “Береговой-1” и “Зырянка” за период 2002–2023 гг.: α- и β-активность (а); содержание радона (б).

шение ПДК для железа и марганца, незначительное – для бария и мышьяка. Результаты, полученные в 2023 г. [12, 13] для широко распространенных трещинных вод девонских гли-

нистых сланцев и вод исследуемых водозаборов, подтверждают эти данные. На рис. 5 показано распределение элементов в водах водозабора, на котором прослеживается тенденция к более вы-

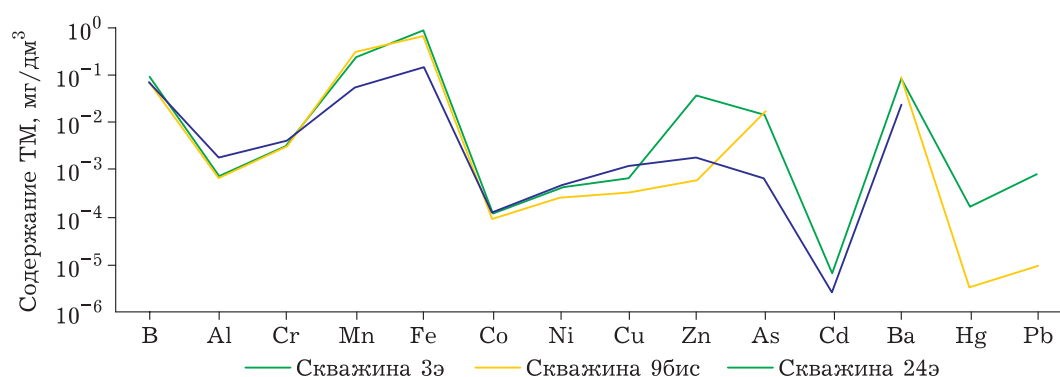


Рис. 5. Распределение тяжелых металлов (ТМ) в подземных водах водозаборов “Береговой-1” (скв. 3э и 9бис) и “Зырянка” (скв. 24э) в 2023 г. (средние значения).

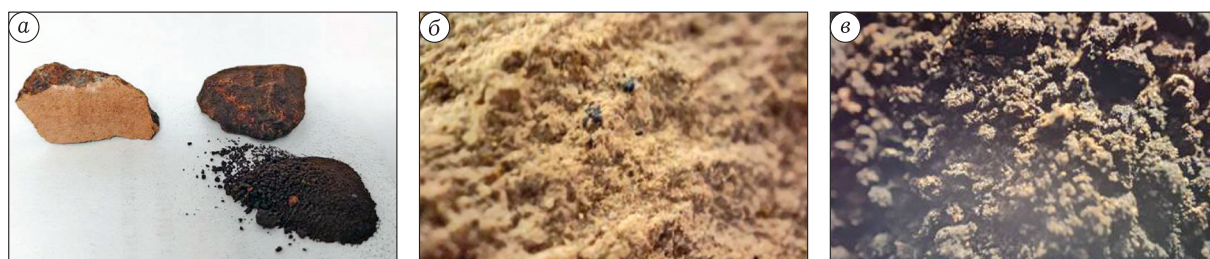


Рис. 6. Внешний вид горелой породы “Розовый песок” месторождения “Дальние горы” (а): до использования (б) и после использования (в) в качестве фильтрующего материала.

соким концентрациям цинка и мышьяка для участка “Береговой-1”. В продолжение этих работ нами был рассчитан индекс загрязнения вод тяжелыми металлами (по фондовым и вновь полученным данным) – HEI (heavy metal evaluation index). Индекс определяет качество природных вод по отношению к содержанию ТМ [9, 10] и рассчитывается как:

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{MAC_i}$$

где M_i – содержание металла в воде; MAC_i – предельно допустимая концентрация ТМ. Классификация природных вод по HEI следующая: низкое загрязнение ТМ – при $HEI < 10$; умеренное – при $10 < HEI < 20$; сильное – при $HEI > 20$ [11]. По индексу HEI воды из скважин участка “Береговой-1” характеризуются низким и средним (скв. 3э), а в отдельные годы сильным (скв. 9бис) загрязнением, что объясняется высокими концентрациями железа, марганца и также мышьяка. Воды участка “Зырянка” соответствуют низкой степени загрязнения ТМ.

В подземных водах водозаборов Новосибирского научного центра, согласно нормативным документам, ежеквартально определяются следующие экологически опасные элементы: Al, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Hg, Ba. Раз в год в связи с низкими фоновыми концентрациями определяют Be, Cr, Pd, Co, Ni, Sr, Bi, W, Te.

Поскольку воды участка “Береговой-1” не соответствуют нормативным требованиям для питьевого централизованного водоснабжения, на водозаборе работает станция обезжелезивания, состоящая из десяти напорных фильтров диаметром 3 м и высотой 5 м. В качестве материала фильтра применяется дробленая горелая порода месторождения “Дальние горы” (Кемеровская обл.), которая выпускается под торговой маркой “Розовый песок” (рис. 6). По данным производителя, порода содержит следующие вещества, мас. %: SiO_2 68.2; Al_2O_3 21.5; Fe_2O_3 4.7; MgO , MnO и прочее – 5.6.

После многолетнего использования дробленой породы в качестве фильтрующего материала определен состав порошкообразного черного образования на поверхности обломков. По данным рентгенофлуоресцентного анализа, его состав следующий, мас. %: SiO_2 5.85, Al_2O_3 0.48, Fe_2O_3 27.34, MnO 27.30, As_2O_3 0.7, MgO 0.81, CaO 4.31, Na_2O 0.41, K_2O 0.10, P_2O_5 3.54 и др. Полученные данные свидетельствуют об эффективности использования данного фильтрующего материала, что подтверждается также составом воды после очищения. В водах резервуара чистой воды, откуда вода подается потребителям, концентрация железа и мышьяка не превышает ПДК, марганца – в пределах или немного выше ПДК.

Для оценки пригодности вод для питьевого водоснабжения в [8] рассчитано загрязнение вод по коэффициенту Келли (соотношение концентраций $\text{Na}/(\text{Ca} + \text{Mg})$): если это соотношение <1 , то качество воды считается высоким. Коэффициент Келли для водозаборов “Береговой-1” и “Зырянка” не превышает 0.16 и 0.12 соответственно, что позволяет отнести их к водам высокого качества для питьевого водоснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя приведенные данные многолетних мониторинговых наблюдений за геохимическим составом подземных вод Новосибирского научного центра, проведенных различными организациями г. Новосибирска и нами, можно сделать вывод, что в течение длительного (более 60 лет) периода эксплуатации водозабора качественный состав вод остается неизменным. Воды этих участков – гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с минерализацией в диапазоне значений 200–400 мг/дм³, общей жесткостью от 3.8 до 7.7 мг-экв/дм³. Характерной особенностью вод инфильтрационного водозабора участка “Береговой-1” является существенное превышение ПДК железа и марганца. Практически постоянно отмечается незначительное превышение ПДК мышьяка, но в отдельные годы – в два и более раза. Такое качество вод участка “Береговой-1” предопределяет обязательную водоподготовку перед подачей населению. Воды участка “Зырянка” соответствуют санитарным нормам по качеству, за исключением концентрации радона, которая может достигать 130 Бк/дм³. В соответствии с международным индексом HEI по оценке качества воды в отношении ТМ, воды участка “Береговой-1” характеризуются низким и средним, а в отдельные годы – сильным загрязнением, что объясняется высокими концентрациями железа, марганца и также мышьяка. Воды участка “Зырянка” соответствуют низкой степени загрязнения тяжелыми металлами.

Полевые и аналитические работы выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-20029) и Правительства Новосибирской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Wang H., Yang Q., Liang J. Interpreting the salinization and hydrogeochemical characteristics of groundwater in Dongshan Island, China // *Mar. Pollut. Bull.* 2022. Vol. 178. Art. 113634.
- Bundschuh J., Schneider J., Alam M. A., Niaz N. K., Herath I., Parvez F., Tomaszewska B., Guilherme L. R. G., Maity J. P., López D. L., Cirelli A. F., Pérez-Carrera A., Morales-Simfors N., Alarcón-Herrera M. T., Baisch P., Mohan D., Mukherjee A. Seven potential sources of arsenic pollution in Latin America and their environmental and health impacts // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 780. Art. 146274.
- Rondano Gómez K., López Pasquali C. E., Paniagua González G., Fernández Hernando P., Garcinuño Martínez R. M. Statistical evaluation of fluoride contamination in groundwater resources of Santiago del Estero Province, Argentina // *Geosci. Front.* 2020. Vol. 11, No. 6. P. 2197–2205.
- Санитарные правила и нормы 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” (с изм. и доп. от 14 февр. 2022 г.). Доступ из электрон. фонда правовых и нормативно-техн. док. “КОДЕКС”. URL: <https://base.garant.ru/400289764/?ysclid=m0uvkoxg8w366899753> (дата обращения: 04.06.2024).
- Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. Geneva: World Health Organization, 2022. 614 p.
- Bashir E., Nawaz-ul Huda S., Naseem S., Hamza S., Kaleem M. Geochemistry and quality parameters of dug and tube well water of Khipro, District Sanghar, Sindh, Pakistan // *Appl. Water Sci.* 2017. Vol. 7, No. 4. P. 1645–1655.
- Kaur T., Bhardwaj R., Arora S. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India // *Appl. Water Sci.* 2017. Vol. 7, No. 6. P. 3301–3316.
- Ganiyu S. A., Badmus B. S., Olurin O. T., Ojekunle Z. O. Evaluation of seasonal variation of water quality using multivariate statistical analysis and irrigation parameter indices in Ajakanga area, Ibadan, Nigeria // *Appl. Water Sci.* 2018. Vol. 8, No. 1. Art. 35.
- Karaouzas I., Kapetanaki N., Mentzafou A., Kanellopoulos T. D., Skoulikidis N. Heavy metal contamination status in Greek surface waters: a review with application and evaluation of pollution indices // *Chemosphere.* 2021. Vol. 263. Art. 128192.
- Аношин Г. Н., Воротников Б. А. Оценка загрязненности питьевых вод и природных вод Академгородка тяжелыми металлами // *Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН* / отв. ред. В. Д. Ермиков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. С. 89–109.
- Кусковский В. С., Кашеваров А. А., Рыбакова С. Т. Оценка запасов подземных вод инфильтрационного водозабора: мат. моделирование. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 155 с.
- Новиков Д. А., Копылова Ю. Г., Сухорукова А. Ф., Вакуленко Л. Г., Пыряев А. Н., Максимова А. А., Деркачев А. С., Фаре А. Н., Хвощевская А. А., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В., Мельгунов М. С., Калинин П. Н., Растигеев С. А. Об открытии слаборадоновых вод – Инские источники // *Геология и геофизика.* 2022. Т. 63, № 12. С. 1714–1732.
- Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Maksimova A. A., Chernykh A. V., Derkachyov A. A. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // *Groundwater Sustainable Dev.* 2021. Vol. 15. Art. 100674.