

УДК 628.1.033

ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ОБЬ-ЗАЙСАНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Максимова Анастасия Алексеевна^{1,2},
rock.nastaya64@gmail.com

Черных Анатолий Витальевич¹,
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Новиков Дмитрий Анатольевич^{1,2},
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Дульцев Федор Федорович¹,
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Деркачев Антон Сергеевич¹,
a.derkachev@g.nsu.ru

Сухорукова Анна Федоровна^{1,2},
SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Никитенков Алексей Николаевич³,
sputnik70@yandex.ru

Хвощевская Альбина Анатольевна³,
unpc_voda@mail.ru

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3/6.

² Новосибирский национальный исследовательский университет, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность данного исследования заключается в необходимости изучения распределения элементов первого класса опасности, урана и тория в подземных водах Обь-Зайсанской складчатой области.

Цель: установить характеристики гидрогеохимического фона и изучить распределение высокотоксичных химических элементов в водах питьевого водоснабжения населения.

Методы. Выполнено определение быстроизменяющихся параметров с помощью полевой гидрогеохимической лаборатории и полевого оборудования Hanna HI98195 – мультипараметровый измеритель pH/ОВП/проводимости, Hanna HI98198 – оксиметр. Измерение активности радона в подземных водах проводилось с помощью комплекса «Альфарад плюс». Лабораторное изучение химического состава определялось методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета. Оценка токсикологических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению. Расчет гидрогеохимического фона проводился в программном комплексе Statistica 8.0 (StatSoft. Inc.). Для выявления степени концентрирования химических элементов в природных водах были рассчитаны коэффициенты концентрации $K_k = \frac{m_x}{n_x}$ и водной миграции (по А.И. Перельману) $Kx_1 = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$. Кумулятивные кривые рассчитаны по формуле: $Pc = Ri / (N+1)$.

Результаты. Изучены воды $\text{HCO}_3 \text{ Mg-Ca}$ и $\text{HCO}_3 \text{ Na-Mg-Ca}$ состава с величиной общей минерализации, варьирующей от 203 до 1568 мг/дм³; геохимические параметры среды, как восстановительные, так и окислительные, с Eh –331,6 – +438,5 мВ, pH 6,6–8,3 с содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 0,29–10,72 мг/дм³. Выявлены относительно высокие концентрации Ti до 0,04 мг/дм³, V до 0,03 мг/дм³, Fe до 93,9 мг/дм³, Zn до 0,38 мг/дм³, As до 0,27 мг/дм³, Zr до 0,018 мг/дм³, Sb до 0,016 мг/дм³, Ba до 0,51 мг/дм³, W до 0,005 мг/дм³, Hg до 0,0002 мг/дм³, Pb до 0,057 мг/дм³, U до 0,34 мг/дм³, что может быть связано как с автомобильным транспортом и промышленными предприятиями, так и с водовмещающими породами. Изучены элементы первого класса опасности, а также уран и торий. Установлено, что по бериллию, а также по таллию и мышьяку 20 % изученных проб выше фонового значения, по торию – 26 %, по урану – 19 %.

Ключевые слова:

Гидрогеохимия, элементы первого класса опасности, факторы загрязнения, Обь-Зайсанская складчатая область, Западная Сибирь.

Введение

В изучаемом регионе плотность населения и расположение промышленных предприятий весьма неоднородны. Имеются природные территории, расположенные в пределах крупнейшей в России Новосибирской городской агломерации, с общей численностью населения более 2 млн человек. Часть неизменных ландшафтов фактически не охвачена деятельностью человека и характеризуется низкой антропогенной нагрузкой. В последние десятилетия в

науках о Земле и их разделе – гидрогеохимии – большое внимание уделяется анализу геохимических особенностей подземных вод, использующихся для целей питьевого водоснабжения населения. Из-за увеличивающейся антропогенной нагрузки многократно возросла проблема с ресурсами чистых подземных вод особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона [1–3], Африки [4, 5] и Латинской Америки [6, 7]. Огромное внимание уделяется изучению высокотоксичных химических элементов [8, 9] и органических соединений [10].

В этой связи актуальность настоящего исследования не вызывает сомнений. В настоящей работе впервые представлены сведения по распределению в подземных водах северных районов Обь-Зайсанской складчатой области элементов первого класса опасности, а также урана и тория. Для вод, эксплуатирующихся в целях питьевого водоснабжения населения, также установлены характеристики гидрогеохимического фона и аномалий.

Материалы и методы

В ходе экспедиционных работ в весенне-осенний период 2022 г. было отобрано 202 пробы подземных вод в пределах Обь-Зайсанской складчатой области (рис. 1, а). На месте отбора проб проводилось определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O_2 и HCO_3^- на приборной базе мультипараметрового измерителя pH/ОВП/проводимости Hanna HI98195 и оксиметра Hanna HI98198. Измерение содержания радона в подземных водах проводилось с помощью комплекса «Альфарад плюс» в лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН. Лабораторное изучение 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 (аналитики В.В. Куровская, А.С. Погуца, Э.С. Шведская, Ю.Ф. Татарская, М.А. Глушкова). Оценка токсикологических особенностей вод прово-

дилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению [11–13]. Расчет гидрогеохимического фона (средняя из наиболее часто встречающихся концентраций того или иного компонента в подземных водах) проводился в программном комплексе Statistica 8.0 (StatSoft. Inc.) с использованием функции Descriptive Statistics с расчетами средних, медианных, минимальных и максимальных значений с учетом стандартного отклонения (таблица).

Для выявления степени концентрирования химических элементов в подземных водах были рассчитаны коэффициенты концентрации (K_k) и водной миграции по А.И. Перельману (K_{x1}) [14]. Первый рассчитывается как $K_{k1} = \frac{m_x}{n_x}$, где m_x – содержание элемента в воде; n_x – кларк литосферы в % (по Н.А. Григорьеву [15]). Второй: $K_{x1} = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$, где m_x – содержание элемента в воде (mg/dm^3); a – минерализация (mg/dm^3) и n_x – кларк литосферы в %.

Кумулятивные кривые ранжированы от меньшего к большему и рассчитаны по формуле $P_c = R_i / (N + 1)$, где R_i – номер ранга наблюдения, N – порядковый номер. Также был рассчитан фактор загрязнения CF (contamination factor) [16, 17], который показывает отношение элемента в воде к фоновому значению и классифицируется следующим образом: $CF < 1$ = низкое загрязнение, $1 < CF < 3$ = умеренное, $3 < CF < 6$ = высокое, $CF > 6$ = очень высокое.

Таблица. Статистические параметры основных элементов 265 проб подземных вод Обь-Зайсанской складчатой области

Table. Statistical parameters of the main elements of 265 groundwater samples of the Ob-Zaisan folded area

Компоненты состава Composition components	Фон Back-ground	Медиана Median	Стандартное отклонение Standard deviation	Кол-во измерений Number of measurements	Сумма Total	Мин. Min	Макс. Max	25 %	75 %
HCO_3^-	403	398	95	202	81320	80	710	354	464
SO_4^{2-}	29	15	37	200	5873	1,83	332	7	44
Cl^-	12	6	16	202	2438	0,32	128	3	16
Ca^{2+}	99	96	29	202	19923	0,20	288	84	108
Mg^{2+}	22	20	10	202	4431	0,23	60	16	27
Na^+	24	17	24	202	4897	0,34	174	9	33
K^+	2	1	2	202	325	0,09	28	0,68	1,77
M^*	601	585	159	202	121440	127	1568	514	682
NH_4	0,93	0,05	6,61	122	113	0,01	72	0,03	0,26
NO_2	0,19	0,01	0,56	91	18	0,0008	3,14	0,01	0,05
NO_3	19	2	49	180	3394	0,0044	482	0,39	14
PO_4	0,33	0,10	0,44	122	41	0,0130	1,47	0,03	0,64
Be	$1,54 \cdot 10^{-5}$	0	$5,34 \cdot 10^{-5}$	157	0,002	0	$5,36 \cdot 10^{-4}$	0	$6,58 \cdot 10^{-6}$
As	0,0074	0,0005	0,0238	201	1,50	$1,68 \cdot 10^{-5}$	0,269	0,0003	0,004
Hg	$2,06 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$2,54 \cdot 10^{-5}$	123	0,0025	0	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0	$3,06 \cdot 10^{-5}$
Tl	$5,79 \cdot 10^{-6}$	$2,11 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	151	$8,74 \cdot 10^{-4}$	0	$8,22 \cdot 10^{-5}$	$4,91 \cdot 10^{-7}$	$5,36 \cdot 10^{-6}$
Th	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$5,19 \cdot 10^{-6}$	$2,94 \cdot 10^{-5}$	153	0,0020	0	$3,08 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$1,24 \cdot 10^{-5}$
U	0,0089	0,0025	0,0311	197	1,76	0	0,34	$5,73 \cdot 10^{-4}$	0,0056

Примечание: содержания указаны в mg/dm^3 ; M^* – минерализация.

Note: contents are indicated in mg/dm^3 ; M^* – mineralization.

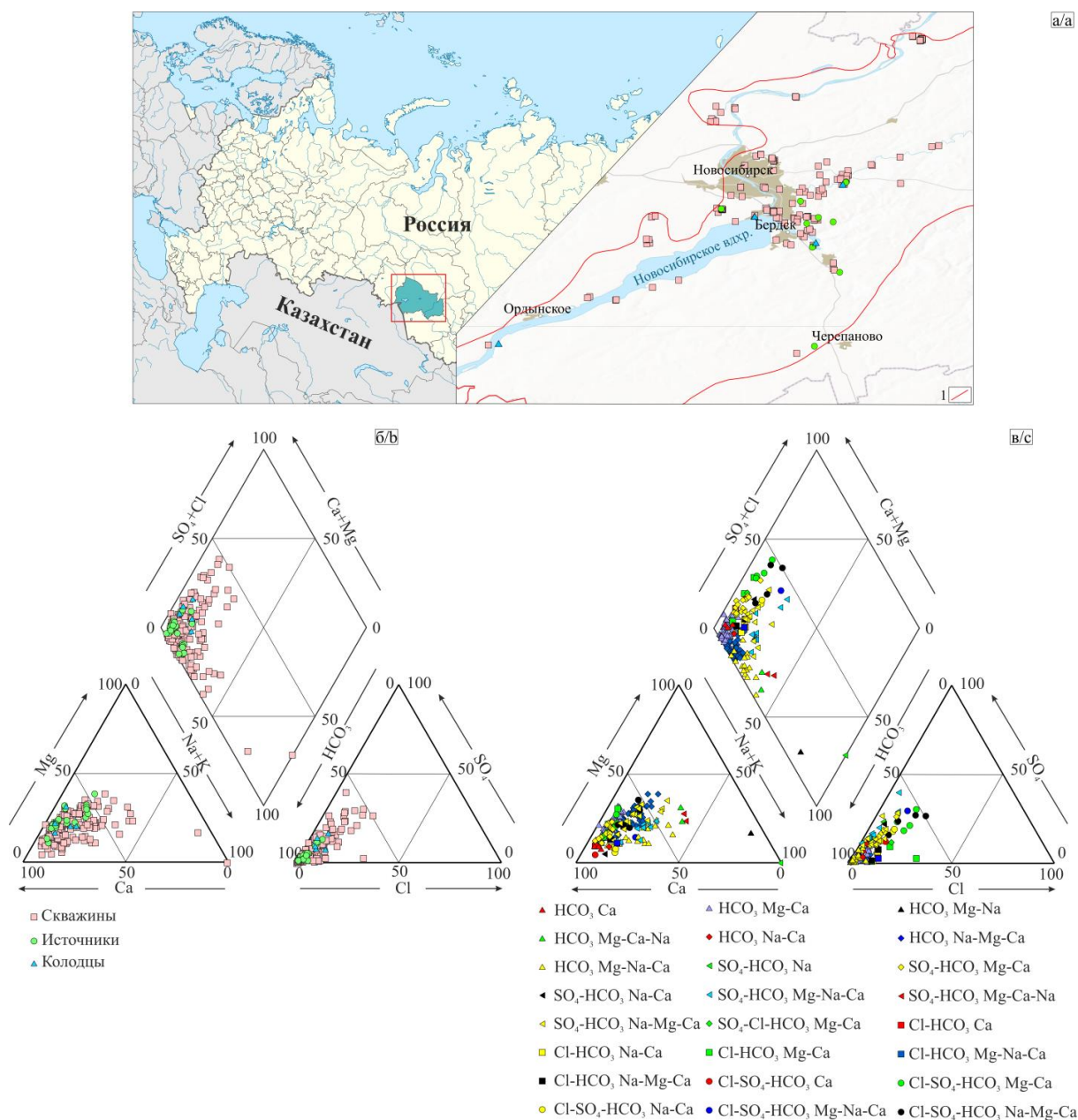


Рис. 1. Местоположение изученных объектов (а), диаграммы Пайпера химического состава подземных вод (б, в).
 1 – граница Обь-Зайсанской складчатой области
Fig. 1. Location of the studied objects (a), Peiper diagrams of the chemical composition of groundwater (b, c).
 1 – boundary of the Ob-Zaysan folded region

Геологическое строение

Территория исследования расположена в пределах Обь-Зайсанской складчатой области, где распространены юрско-девонские отложения. Породы юрского возраста представлены преимущественно песчаниками, алевролитами, аргиллитами и бурыми или каменными углями. Отложения каменноугольной системы сложены аргиллитами, алевролитами, тонкослоистыми песчаниками и известняками. Девонские отложения представлены алевролитами, аргиллитами, полимиктовыми песчаниками, глинистыми сланцами, андезитами, их туфами, базальтами, туфопесчаниками, известняками. На северо-западе области распростра-

нены гранитоиды второй фазы приобского комплекса (P₃-T₁) и первой фазы барлакского комплекса (T₁₋₂).

Приобский комплекс включает в себя несколько фаз внедрения со сравнительно простым породным составом. Первую фазу слагают диориты, кварцевые диориты, их умеренно-щелочные аналоги, которые развиты на ограниченной территории. Главная фаза включает в себя умеренно-щелочные биотитроговообманковые граниты с директивными текстурами и граносиениты [18]. Вторая фаза приобского комплекса слагает крупный Новосибирский массив, представленный второй фазой, сложенной биотитовыми и биотит-амфиболовыми гранитами, субщелочными двуполевошпатовыми гранитами, реже лейко-

гранитами. Барлакский комплекс имеет монотонный состав, который представлен серыми двуполовошпатовыми среднезернистыми биотитовыми лейкогранитами и гранит-порфирами.

Результаты и обсуждения

Геохимическая характеристика подземных вод

Были изучены подземные воды на территории Обь-Зайсанской складчатой области. Пробы отбирались из трех групп водопунктов: 1) скважин (174 пробы), 2) источников (23 пробы) и 3) колодцев (5 проб).

Так, воды первой и наиболее многочисленной группы в основном гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава (рис. 1, б, в) с величиной общей минерализации 127–1568 мг/дм³. Eh среды изменяется от восстановительной (–331,6 мВ) до окислительной (+438,5 мВ) обстановки, значения pH составляют 6,6–8,0, а содержание O_{2раств.} 0,29–10,43 мг/дм³. В них выявлены высокие концентрации (мг/дм³): Mn (в среднем 0,55), Fe (в среднем 2,44), As (в среднем 0,008), Sb (в среднем 0,0005), W (в среднем 0,0002), Hg (в среднем 0,00002), Pb (в среднем 0,0008) и U (в среднем 0,010). Можно предположить концентрирование и накопление Se (Kki=0,02), Br (Kki=0,02), Te (Kki=0,01) и I (Kki=0,15) в изученных водах. Установлено, что в изученных объектах ряд миграционной способности химических элементов имеет следующий вид: очень сильно миграционно способны: I>Br>Se>Te>B; сильно: Re>As>U>Au>Sr>Mo>Sb; средне: Mn>Pd>Li>Zn>Hg>P>Ba>W>Sc>Cd>Cu>Cr>Co. Таким образом, в этой группе вод относительно высокая минерализация (более 1 г/дм³) выявлена в водозаборных скважинах Ярковского сельсовета (Новосибирский район Новосибирской области (НСО)) и р.п. Колывань (Колыванский район НСО). Загрязнение нитратами (45,6–482 мг/дм³) установлено в подземных водах преимущественно Новосибирского, Болотнинского и Маслянинского районов НСО. Такие высокие концентрации NO₃, вероятно, связаны с работой эксплуатируемых карьеров (взрывные вещества), которые находятся в непосредственной близости от изученных объектов, и сельскохозяйственной деятельностью населения. Как правило, источниками высоких содержаний Fe, As, Zr, Sb, W, Hg, Pb, U в подземных водах выступают: автомобильный транспорт, промышленные предприятия или водовмещающие породы, но это требует проверки в каждом конкретном случае. Наиболее высокие концентрации U (0,015–0,338 мг/дм³) выявлены в скважинах глубиной 20–153 м, воды которых с геохимических позиций можно отнести к группе трещинно-жильных гранитоидов [19–22].

Воды второй группы по составу в основном отвечают HCO₃ Mg-Ca (рис. 1, б, в) с величиной общей минерализации 389–714 мг/дм³. Геохимическая обстановка изменяется от восстановительной (Eh –92,0 мВ) до окислительной (+235,2 мВ), pH нейтральный и слабощелочной (7,1–8,3), а содержание O_{2раств.} составляет 0,52–10,72 мг/дм³. В водах предположительно могут накапливаться Se (Kki=0,02), Br (Kki=0,02), Te

(Kki=0,01) и I (Kki=0,07). Очень сильной миграционной способностью в растворе обладают I, Br, Se, Te, B; сильной: Re, U, Sr, As, Mo. При этом в подземных водах выявлены превышения по бериллию над фоновыми концентрациями (фон 1,54·10⁻⁵ мг/дм³) в Новосибирском районе в 5 раз, в Искитимском в 4; по мышьяку (фон 7,44·10⁻³ мг/дм³) в Искитимском районе в три раза; по таллию (фон 5,79·10⁻⁶ мг/дм³) и торию (фон 1,31·10⁻⁵ мг/дм³) в три раза в Новосибирском районе.

Воды третьей группы гидрокарбонатного магниево-кальциевого и сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава (рис. 1, б, в) умеренно и собственно пресные (минерализация 339–661 мг/дм³). Геохимическая обстановка окислительная с Eh +130,4 – +205,3 мВ, по водородному показателю воды нейтральные и слабощелочные (pH 7,2–7,6) с содержанием растворенного кислорода 2,77–6,52 мг/дм³. Выявлены высокие концентрации (мг/дм³): Al до 0,115; Ti до 0,0029; V до 0,0012; Cr до 0,019; Ni до 0,0064; Cu до 0,0090; Zn до 0,075; Ba до 0,121. По коэффициентам концентрации установлено, что в водах накапливаются Se (Kki=0,05); Br (Kki=0,03); Te (Kki=0,01); I (Kki=0,06). В изученных водах I, Br, Se, Te, B имеют очень сильную миграционную способность; Sr, U, Mo, As, Zn – сильную; Sb, Li, Au, Cr, Pd, Sc, Ba, Cu, Ni, Cd, Mn, Sn – среднюю. Эти тенденции контролируются как химическими свойствами самих элементов, так и процессами взаимодействия вод с вмещающими горными породами.

Распределение элементов первого класса опасности, U и Th

В работе рассмотрены элементы первого класса опасности, наиболее пагубно влияющие на организм человека: допустим, большое количество и длительное воздействие бериллия, который ослабляет и разрушает костную ткань, поражает лёгкие; мышьяка, который приводит к развитию рака и поражениям кожи; ртути, которая поражает нервную, пищеварительную и иммунную системы; таллия – периферическую нервную систему, желудочно-кишечный тракт и почки.

Применение методов математической статистики позволило рассчитать кумулятивные кривые (рис. 2) для элементов первого класса опасности, урана и тория, которые отражают процентные значения меньше эталона. В нашем случае эталоном выступает фоновое значение.

В изученных водах по бериллию 20 % проб находятся выше фонового значения (рис. 2, а) и 1 % выше ПДК. На картах распределения коэффициента CF выявлены аномалии, находящиеся преимущественно на территориях г. Новосибирска и Новосибирского района НСО (рис. 3, а). Эти аномалии находятся близ гранитоидных массивов, и их появление характеризуется природными факторами. По таллию (рис. 2, б) 20 % проб выше фоновых значений и 1 % выше ПДК. Высокие значения таллия выявлены в г. Новосибирске и в Новосибирском районе. Все превышения выявлены рядом с эксплуатируемыми карьерами, а так-

же с гранитоидными массивами (рис. 3, б). По мышьяку значения 20 % проб выше фонового (рис. 2, в) и 16 % превышают ПДК. На всей исследуемой территории отмечаются повышенные содержания мышьяка (рис. 3, в), но особенно стоит выделить объекты в СНТ Маяк (г. Новосибирск, Советский район: As 0,013–0,085 мг/дм³), СНТ Химик, с. Сенчанка (Ново-

сибирский район: As 0,032 и 0,019 мг/дм³ соответственно), СНТ Лесное-1 (Тогучинский район: As 0,036 мг/дм³). Содержания тория в 26 % проб выше фона (рис. 2, г). Высокие значения Cf выявлены в Кировском и Советском районах г. Новосибирска (рис. 3, з).

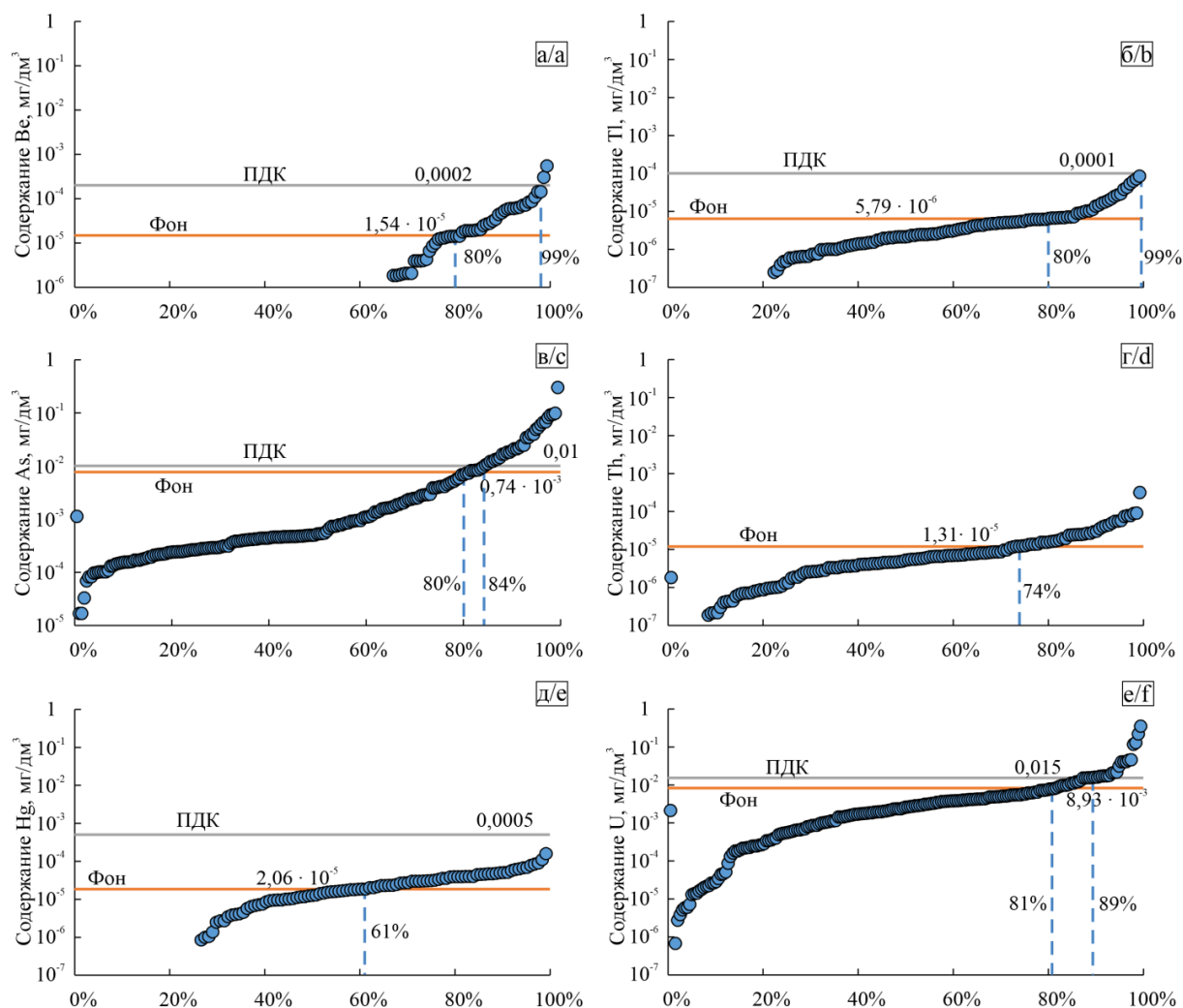


Рис. 2. а–е) кумулятивные кривые для элементов первого класса опасности, урана и тория в подземных водах
Fig. 2. а–f) cumulative curves for elements of the first hazard class, uranium and thorium in groundwater

Концентрации ртути, превышающие фон, обнаружены в 39 % проб (рис. 2, д), но не превышают ПДК. Значительные превышения выявлены в Октябрьском районе г. Новосибирска (рис. 3, д) близ разрабатываемого карьера Борок. Содержания урана, превышающие фон, выявлены в 19 % изученных проб (рис. 2, е), превышающие ПДК – в 11 %. Все аномалии выявлены в г. Новосибирске (рис. 3, е), где расположен одноименный гранитоидный массив, в минералах которого (монацит, циркон, флюорит и др.) присутствует уран.

Таким образом, по фактору загрязнения Cf установлено, что в среднем в 82 % проб не выявлены повышенные концентрации элементов первого класса опасности, урана и тория. Если использовать изначальный смысл фактора Cf, то низкая степень загрязнения отмечается в 12 % проб, средняя – в 4 % и сильная – в 2 %. Причины этого лежат в минералогических особенностях водовмещающих пород и требуют дополнительных исследований их геохимических особенностей.

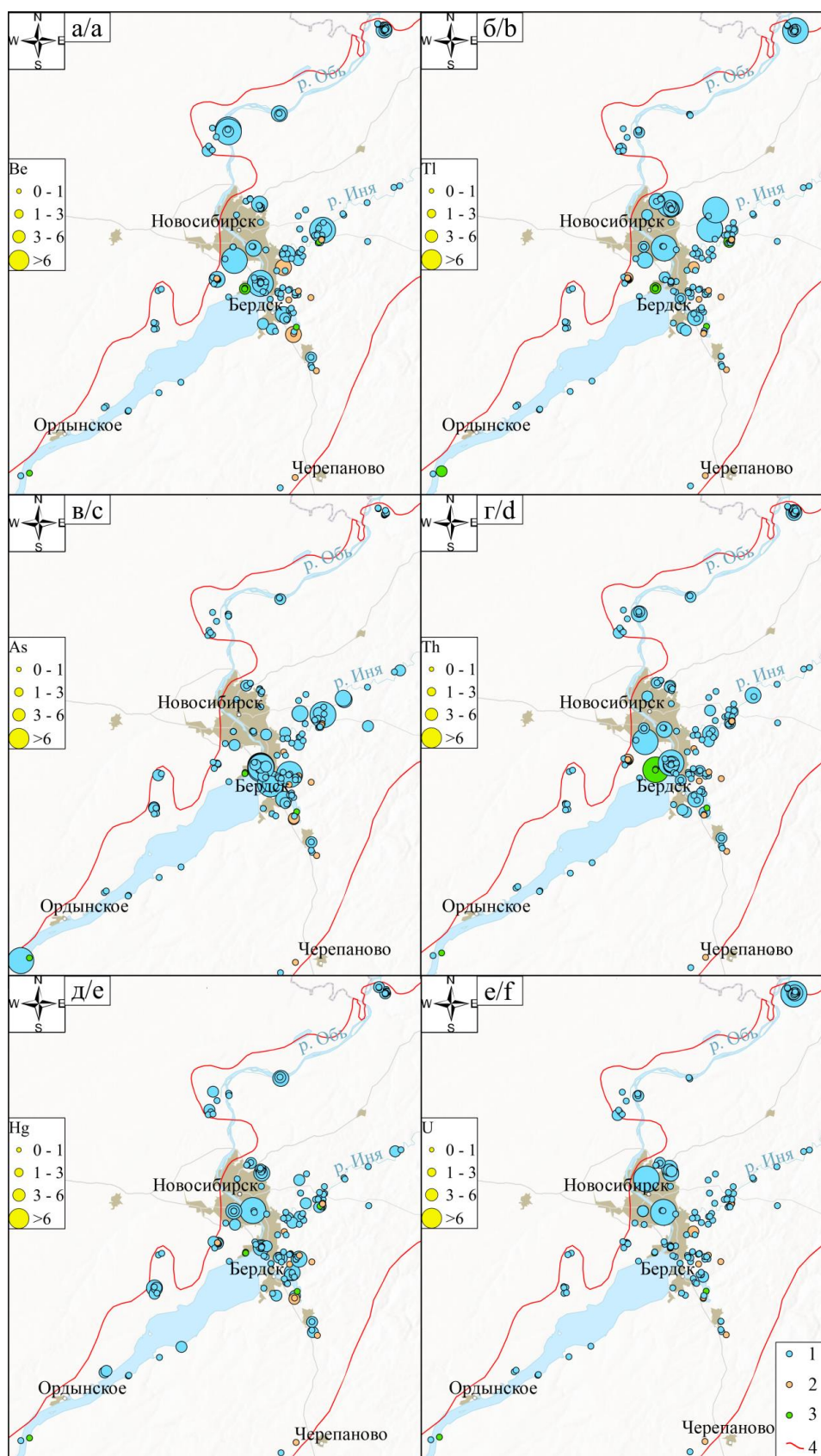


Рис. 3. Карты-схемы распределения коэффициента CF по элементам первого класса опасности, урана и тория на территории Обь-Зайсанской складчатой области: 1 – скважины; 2 – источники; 3 – колодцы; 4 – граница Обь-Зайсанской складчатой области

Fig. 3. Schematic maps of the distribution of the CF coefficient for elements of the first hazard class, uranium and thorium on the territory of the Ob-Zaisan folded region: 1 – wells; 2 – springs; 3 – draw-well; 4 – boundary of the Ob-Zaisan folded region

Заключение

Из вышенаписанного следует, что в целом подземные воды исследуемого региона по составу гидрокарбонатные магниево-кальциевые и гидрокарбонатные натриево-магниево-кальциевые, изменяются от умеренно пресных (минерализация 203 мг/дм³) до слабосолоноватых (минерализация 1568 мг/дм³). Геохимическая обстановка как восстановительная (Eh –331,6 мВ), так и окислительная (Eh +438,5 мВ), по водородному показателю воды нейтральные (рН 6,6) и слабощелочные (рН 8,3) с содержанием растворенного кислорода 0,29–10,72 мг/дм³. Выявлены относительно высокие концентрации Ti до 0,04 мг/дм³, V до 0,03 мг/дм³, Fe до 93,9 мг/дм³, Zn до 0,38 мг/дм³, As до 0,27 мг/дм³, Zr до 0,018 мг/дм³, Sb до 0,016 мг/дм³, Ba до 0,51 мг/дм³, W до 0,005 мг/дм³, Hg до 0,0002 мг/дм³, Pb до

0,057 мг/дм³, U до 0,34 мг/дм³. Высокие концентрации приведенных элементов связаны прежде всего с составом вмещающих пород, а во вторую очередь с большим количеством промышленных предприятий, развитых на изучаемой территории. В работе были изучены элементы первого класса опасности, а также уран и торий. Установлено, что по бериллию, таллию, мышьяку 20 % изученных проб выше фонового значения, по торью –26 %, по урану – 19 %.

Полевые работы выполнены при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ №№ FWZZ-2022-0014, FSWW-2023-0008, аналитические работы по изучению химического состава подземных вод, обособанию гидрогеохимического фона и аномалий – при поддержке проекта № 22-17-20029 Российской научного фонда и Правительства Новосибирской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chotpantara S., Thamrongsrisakul J. Natural and anthropogenic factors influencing hydrochemical characteristics and heavy metals in groundwater surrounding a gold mine, Thailand // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2021. – V. 211. – № 15. – Article 104692.
2. Wang H., Yang Q., Liang J. Interpreting the salinization and hydrogeochemical characteristics of groundwater in Dongsan Island, China // *Marine Pollution Bulletin*. – 2022. – V. 178. – Article 113634.
3. Vulnerability of groundwater from elevated nitrate pollution across India: insights from spatio-temporal patterns using large-scale monitoring data / S. Sarkar, A. Mukherjee, S. Duttagupta, N.S. Bhanja, A. Bhattacharya, S. Chakraborty // *Journal of Contaminant Hydrology*. – 2021. – V. 243. – Article 103895.
4. Mukonazwothe M., Munyai L.F., Mutoti M.I. Groundwater quality evaluation for domestic and irrigation purposes for the Nwanedi Agricultural Community, Limpopo Province, South Africa // *Heliyon*. – 2022. – V. 8. – Iss. 4. – Article e09203.
5. Groundwater quality assessment and application of multivariate statistical analysis in Luvuvhu catchment, Limpopo, South Africa / V. Elumalai, V.G. Nethononda, V. Manivannan, N. Rajmohan, P. Li, L. Elango // *Journal of African Earth Sciences*. – 2020. – V. 171. – Article 103967.
6. Seven potential sources of arsenic pollution in Latin America and their environmental and health impacts / J. Bundschuh, J. Schneider, M.A. Alam, N.K. Niazi, I. Herath, F. Parvez, B. Tomaszewska, L.R.G. Guilherme, J.P. Maity, D.L. López, A.F. Cirelli, A. Pérez-Carrera, N. Morales-Simfors, M.T. Alarcón-Herrera, P. Baisch, D. Mohan, A. Mukherjee // *Science of The Total Environment*. – 2021. – V. 780. – № 1. – Article 146274.
7. Statistical evaluation of fluoride contamination in groundwater resources of Santiago del Estero Province, Argentina / K. Rondano Gómez, C.E. López Pasquali, G. Paniagua González, P. Fernández Hernando, R.M. Garcinuño Martínez // *Geoscience Frontiers*. – 2020. – V. 11. – Iss. 6. – P. 2197–2205.
8. Naturally occurring potentially toxic elements in groundwater from the volcanic landscape around Mount Meru, Arusha, Tanzania and their potential health hazard / I. Tomašek, H. Mouri, A. Dille, G. Bennett, P. Bhattacharya, N. Brion, M. Elskens, K. Fontijn, Y. Gao, P.K. Gevera, J. Ijumulana, M. Kisaka, M. Leermakers, C. Shemsanga, K. Walraevens, J. Wragg, M. Kervyn // *Science of The Total Environment*. – 2022. – V. 807. – P. 1. – Article 150487.
9. Heavy metal pollution in groundwater of urban Delhi environs: pollution indices and health risk assessment / K. Sharma, N. Janardhana Raju, N. Singh, S. Sreekesh // *Urban Climate*. – 2022. – V. 45. – Article 101233.
10. Koroša A., Mali N. Control of organic contaminants in groundwater by passive sampling and multivariate statistical analysis // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – V. 318. – № 15. – Article 115440.
11. 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 изменениями на 26 июня 2021 года). – М.: Государственная дума РФ, 2021. – 65 с.
12. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
13. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 631 p.
14. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
15. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 с.
16. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.
17. Assessment of potentially harmful elements pollution in the Calore River basin (Southern Italy) / D. Zuzolo, D. Cicchella, V. Catani, L. Giaccio, I. Guagliardi, L. Esposito, B. De Vivo // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2017. – № 39. – P. 531–548.
18. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка / Г.А. Бабин, А.И. Черных, А.Г. Головина, С.В. Жигалов, С.С. Долгушин, Е.В. Ветров, Т.В. Кораблева, Н.А. Бодина, Н.А. Светлова, Г.С. Федосеев, А.П. Хилько, В.А. Епифанов, Ю.И. Лоскутов, И.Ю. Лоскутов, М.В. Михаревич, Е.А. Пихутин. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 392 с.
19. Гидрогеология и гидрогеохимия месторождения радоновых вод «Каменское» (г. Новосибирск) / Д.А. Новиков, А.Ф. Сухорукова, Т.В. Корнеева, Р.М. Каменова-Тоцева, А.А. Максимова, А.С. Деркачев, Ф.Ф. Дульцев, А.В. Черных // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 192–208.
20. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод / Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, А.А. Максимова, А.Н. Пырьев, А.Н. Фаге, А.А. Хвашевская, А.С. Деркачев, А.В. Черных // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 57–72.
21. Об открытии слаборадоновых вод – Инские источники / Д.А. Новиков, Ю.Г. Копылова, А.Ф. Сухорукова, Л.Г. Вакуленко, А.Н. Пырьев, А.А. Максимова, А.С. Деркачев, А.Н. Фаге, А.А. Хвашевская, Ф.Ф. Дульцев, А.В. Черных,

- М.С. Мельгунов, П.Н. Калинин, С.А. Растигеев // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63. – № 12. – С. 1714–1732.
22. Radon-rich waters of the Tulinka aquifers, Novosibirsk, Russia / D.A. Novikov, Yu.G. Kopylova, A.N. Pyryaev, A.A. Maksimova, A.S. Derkachev, A.F. Sukhorukova, F.F. Dultsev, A.V. Chernykh, A.A. Khvashchevskaya, P.N. Kalinkin, A.V. Petrozhitsky //

Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – V. 20. – P. 1–11.

Поступила: 17.01.2023 г.
Прошла рецензирование: 05.02.2023 г.

Информация об авторах

Максимова А.А., инженер лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; ассистент кафедры минералогии и геохимии Новосибирского национального исследовательского университета.

Черных А.В., научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Новиков Д.А., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Дульцев Ф.Ф., научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Деркачев А.С., инженер лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Сухорукова А.Ф., кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент кафедры общей и региональной геологии Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Никитенков А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Хвациевская А.А., кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующая проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 628.1.033

TOXIC ELEMENTS IN GROUNDWATER IN THE NORTHERN REGIONS OF THE OB-ZAYSAN FOLDED REGION

Anastasia A. Maksimova^{1,2},
rock.nastaya64@gmail.com

Anatoliy V. Chernykh¹,
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Dmitry A. Novikov^{1,2},
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Fedor F. Dultsev¹,
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Anton S. Derkachev¹,
a.derkachev@g.nsu.ru

Anna F. Sukhorukova^{1,2},
ukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Alexey N. Nikitenkov³,
sputnik70@yandex.ru

Albina A. Khvachshevskaya³,
unpc_voda@mail.ru

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
3/6, Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

² Novosibirsk State University,
1, Pirogov street, Novosibirsk, 630090, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of this research lies in the need to study the distribution of elements of the first hazard class, uranium and thorium in the groundwater of the Ob-Zaisan folded area.

Objective: to establish the characteristics of the hydrogeochemical background and to study the distribution of highly toxic chemical elements in the waters of the drinking water supply of the population.

Methods. Rapidly changing parameters were determined using a field hydrogeochemical laboratory and field equipment Hanna HI98195 – a multi-parameter pH/ORP/conductivity meter, Hanna HI98198 – an oximeter. The measurement of radon activity in groundwater was carried out using the Alfarad plus complex. Laboratory studies of the chemical composition by means of titration, ion chromatography, mass spectrometry with inductively coupled plasma were carried out at the Research Laboratory of Hydrogeochemistry at the School of Earth Sciences and Engineering of the Tomsk Polytechnic University. The assessment of the toxicological characteristics of waters was carried out using the current regulatory documents: SanPiN 2.1.3684-21, SS R 58573-2019 and the recommendations of the World Health Organization. The hydrogeochemical background was calculated using the Statistica 8.0 software package (StatSoft. Inc.). To determine the extent of element concentrating in natural waters, the coefficients of concentration $Kk_i = \frac{m_x}{n_x}$ and water migration (according to A.I. Perelman)

$Kx_1 = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$ were calculated. Cumulative curves are calculated by the formula: $Pc = Ri / (N + 1)$.

Results. The studied waters are HCO_3 Mg-Ca and HCO_3 Na-Mg-Ca composition with total mineralization varying from 203 to 1568 mg/dm³. The geochemical parameters of the environment are both reducing and oxidizing with Eh –331,6 – +438,5 mV, pH 6,6–8,3 with the content of O_{2disol} 0,29–10,72 mg/dm³. The authors revealed relatively high concentrations of Ti – up to 0,04 mg/dm³, V – up to 0,03 mg/dm³, Fe – up to 93,9 mg/dm³, Zn – up to 0,38 mg/dm³, As – up to 0,27 mg/dm³, Zr – up to 0,018 mg/dm³, Sb – up to 0,016 mg/dm³, Ba – up to 0,51 mg/dm³, W – up to 0,005 mg/dm³, Hg – up to 0,0002 mg/dm³, Pb – up to 0,057 mg/dm³, U – up to 0,34 mg/dm³, which is probably related to the composition of host rocks and the spread of industrial enterprises developed in the study area. The elements of the first hazard class, as well as uranium and thorium, were studied in the work. It was found that 20 % of the studied samples were higher than the background value for beryllium, as well as for thallium and arsenic, 26 % – for thorium, and 19 % – for uranium.

Key words:

Hydrogeochemistry, elements of the first hazard class, pollution factors, Ob-Zaisan folded region, Western Siberia.

Field work was carried out with the financial support of projects of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation no. FWZZ-2022-0014, FSWW-2023-0008, analytical work on the study of the chemical composition of groundwater, substantiation of the hydrogeochemical background and anomalies – with the support of project no. 22-17-20029 of the Russian Science Foundation and the Government of the Novosibirsk Region.

REFERENCES

1. Chotpantrana S., Thamrongrisakul J. Natural and anthropogenic factors influencing hydrochemical characteristics and heavy metals in groundwater surrounding a gold mine, Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2021, vol. 211, no. 15, article 104692.
2. Wang H., Yang Q., Liang J. Interpreting the salinization and hydrogeochemical characteristics of groundwater in Dongshan Island, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, vol. 178, article 113634.
3. Sarkar S., Mukherjee A., Duttagupta S., Bhanja N.S., Bhattacharya A., Chakraborty S. Vulnerability of groundwater from elevated nitrate pollution across India: Insights from spatio-temporal patterns using large-scale monitoring data. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2021, vol. 243, article 103895.
4. Mukonazwothe M., Munyai L.F., Mutoti M.I. Groundwater quality evaluation for domestic and irrigation purposes for the Nwanedi Agricultural Community, Limpopo Province, South Africa. *Helvion*, 2022, vol. 8, Iss. 4, article e09203.

5. Elumalai V., Nethononda V.G., Manivannan V., Rajmohan N., Li P., Elango L. Groundwater quality assessment and application of multivariate statistical analysis in Luvuvhu catchment, Limpopo, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 2020, vol. 171, article 103967.
6. Bundschuh J., Schneider J., Alam M.A., Niazi 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-Simfons 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. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 780, no. 1, article 146274.
7. 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. *Geoscience Frontiers*, 2020, vol. 11, Iss. 6, pp. 2197–2205.
8. Tomašek I., Mouri H., Dille A., Bennett G., Bhattacharya P., Brion N., Elskens M., Fontijn K., Gao Y., Gevera P.K., Ijumulana J., Kisaka M., Leermakers M., Shemsanga C., Walraevens K., Wragg J., Kervyn M. Naturally occurring potentially toxic elements in groundwater from the volcanic landscape around Mount Meru, Arusha, Tanzania and their potential health hazard. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 807, P. 1, article 150487.
9. Sharma K., Janardhana Raju N., Singh N., Sreekesh S. Heavy metal pollution in groundwater of urban Delhi environs: Pollution indices and health risk assessment. *Urban Climate*, 2022, vol. 45, Article 101233.
10. Koroša A., Mali N. Control of organic contaminants in groundwater by passive sampling and multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 318, no. 15, article 115440.
11. SanPiN 2.1.3684-21 *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territoriy gorodskikh i selskikh poseleniy, k vodnym obyektam, pitevoy vode i pitevomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukh, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, eksploataatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy (s izmeneniyami na 26 iyunya 2021 goda)* [Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) events (as amended on June 26, 2021)]. Moscow, State Duma of the Russian Federation Publ., 2021. 65 p.
12. GOST R 58573-2019. *Okhrana prirody. Gidrosfera. Kachestvo vody. Risk-orientirovanny control* [Protection of nature. Hydrosphere. Water quality. Risk based control]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 18 p.
13. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva, World Health Organization, 2017. 631 p.
14. Perelman A.I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. 2nd ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1975. 342 p.
15. Grigoryev N. A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory* [Distribution of chemical elements in the upper continental crust]. Yekaterinburg, Ural Branch of RAS, 2009. 383 p.
16. CP 33-101-2003. *Svod pravil po proyektirovaniyu i stroitelstvu. Opreделение osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Code of practice for design and construction. Determination of the main calculated hydrological characteristics], Moscow, Gosstroy of Russia, FSUE TsPP Publ., 2004. 73 p.
17. Zuzolo D., Cicchella D., Catani V., Giaccio L., Guagliardi I., Esposito L., De Vivo B. Assessment of potentially harmful elements pollution in the Calore River basin (Southern Italy). *Environmental Geochemistry and Health*, 2017, no. 39, pp. 531–548.
18. Babin G.A., Chernykh A.I., Golovina A.G., Zhigalov S.V., Dolgushin S.S., Vetrov E.V., Korableva T.V., Bodina N.A., Svetlova N.A., Fedoseev G.S., Khilko A.P., Epifanov V.A., Loskutov Yu.I., Loskutov I.Yu., Mikharevich M.V., Pikhutin E.A. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tretye pokolenie). Seriya Altaye-Sayanskaya. List N-44 – Novosibirsk. Obyasnitelnaya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet N-44 – Novosibirsk. Explanatory letter]. St. Petersburg, Cartographic factory VSEGEI Publ., 2015. 392 p.
19. Novikov D.A., Sukhorukova A.F., Korneeva T.V., Kamenova-Totzeva R.M., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Dultsev F.F., Chernykh A.V. Hydrogeology and hydrogeochemistry of the «Kamenskoe» field of radon-rich waters (Novosibirsk). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 4, pp. 192–208. In Rus.
20. Novikov D.A., Dultsev F.F., Maksimova A.A., Pyryaev A.N., Fage A.N., Khvashchevskaya A.A., Derkachev A.S., Chernykh A.V. Initial results of the integrated isotope-hydrogeochemical studies of the Novobibeevo occurrence of radon-rich waters. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 1, pp. 57–72. In Rus.
21. Novikov D.A., Kopylova Yu.G., Sukhorukova A.F., Vakulenko L.G., Pyryaev A.N., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Faguet A.N., Khvashchevskaya A.A., Dultsev F.F., Chernykh A.V., Mel'gunov M.S., Kalinkin P.N., Rastigeev S.A. The Inskie Springs: New Insights into Low-Radon Waters. *Russian Geology and Geophysics*, 2022, vol. 63, no. 12, pp. 1424–1441.
22. Novikov D.A., Kopylova Yu.G., Pyryaev A.N., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Sukhorukova A.F., Dultsev F.F., Chernykh A.V., Khvashchevskaya A.A., Kalinkin P.N., Petrozhitsky A.V. Radon-rich waters of the Tulinka aquifers, Novosibirsk, Russia. *Groundwater for Sustainable Development*, 2023, vol. 20, pp. 1–11.

Received: 17 January 2023.
Reviewed: 5 February 2023.

Information about the authors

Anastasia A. Maksimova, engineer, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; assistant, Novosibirsk State University.

Anatoliy V. Chernykh, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Dmitry A. Novikov, Cand. Sc., head of the laboratory, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, Novosibirsk State University.

Fedor F. Dultsev, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Anton S. Derkachev, engineer, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Anna F. Sukhorukova, Cand. Sc., researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, Novosibirsk State University.

Alexey N. Nikitenkov, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Albina A. Khvashchevskaya, Cand. Sc., head of the scientific laboratory, National Research Tomsk Polytechnic University.