

А. А. Максимова^{1,2}, А. В. Черных^{1,2}, А. А. Хващевская³*

Экологическое состояние подземных вод северных районов Обь-Зайсанской складчатой области

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Российская Федерация

*e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

Аннотация. В настоящей работе приведены данные о распределении элементов первого класса опасности, урана и тория в подземных водах Обь-Зайсанской складчатой области. Лабораторное изучение химического состава проводилось методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета. С использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению была проведена оценка токсикологических особенностей вод. Изученные воды HCO_3 Mg-Ca и HCO_3 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, промышленными предприятиями, так и с водовмещающими породами. В работе были изучены элементы первого класса опасности, а также уран и торий. Установлено, что по бериллию 20% изученных проб находятся выше фонового значения, а также по таллию и мышьяку, по торию – 26%, по урану – 19%.

Ключевые слова: гидрогеохимия, элементы первого класса опасности, факторы загрязнения

A. A. Maksimova^{1,2}, A. V. Chernykh^{1,2}, A. A. Khvachshevskaya³*

Ecological state of groundwater in the northern regions of the Ob-Zaisan folded region

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

*e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

Abstract. This paper presents data of the distribution of elements of the first hazard class, uranium and thorium in the groundwater of the Ob-Zaisan folded area. 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, GOST R 58573-2019 and the recommendations of the World Health Organization. The studied waters are HCO_3 Mg-Ca and HCO_3 Na-Mg-Ca composition with total mineralization varying from 203 to 1568 mg/dm^3 . 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 $\text{O}_{2\text{disol}}$ 0.29 – 10.72 mg/dm^3 . Relatively high concentrations of were revealed Ti up to 0.04 mg/dm^3 , V up to 0.03 mg/dm^3 , Fe up to 93.9 mg/dm^3 , Zn up to 0.38 mg/dm^3 , As up to 0.27 mg/dm^3 , Zr up to 0.018 mg/dm^3 , Sb up to 0.016 mg/dm^3 , Ba up to 0.51 mg/dm^3 , W up to 0.005 mg/dm^3 , Hg up to 0.0002 mg/dm^3 , Pb up to 0.057 mg/dm^3 , U up to 0.34 mg/dm^3 , 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 thallium and arsenic, 26% for thorium, and 19% for uranium.

Keywords: hydrogeochemistry, elements of the first hazard class, pollution factors

Введение

В изучаемом регионе плотность населения и расположение промышленных предприятий весьма неоднородно. Имеются природные территории, расположенные в пределах крупнейшей в России Новосибирской городской агломерации с общей численностью населения более 2 млн человек. Часть неизмененных 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 проблема с ресурсами чистых подземных вод возросла многократно.

В этой связи актуальность настоящих исследований не вызывает сомнений. В настоящей работе впервые представлены сведения по распределению в подземных водах северных районов Обь-Зайсанской складчатой области элементов первого класса опасности (Be, As, Hg, Tl), 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 года было отобрано 202 пробы подземных вод в пределах Обь-Зайсанской складчатой области (рис. 1а). На месте отбора проб проводилось определение быстроизменяющихся параметров таких, как pH, Eh, температуры, содержания растворенного O_2 и HCO_3^- на приборной базе мультипараметрового измерителя pH/ОВП/проводимости Hanna HI98195 и оксиметра Hanna HI98198. 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 токсико-

логических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению [1-3]. Расчет гидрогеохимического фона проводился в программном комплексе Statistica 8.0 (StatSoft. Inc.).

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 [4, 5], 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.

Геологическое строение

Территория исследования расположена в пределах Обь-Зайсанской складчатой области (рис. 1), где распространены юрско-девонские отложения.



Рис. 1. Местоположение изученных объектов (а), диаграммы Пайпера химического состава подземных вод (б, в).

1 – граница Обь-Зайсанской складчатой области; 2 – скважины; 3 – источники; 4 – колодцы

Породы юрского возраста представлены преимущественно песчаниками, алевролитами, аргиллитами, бурыми и каменными углями. Отложения каменноугольной системы сложены аргиллитами, алевролитами тонкослоистыми песчаниками и известняками. Девонские отложения представлены алевролитами, аргиллитами, полимиктовыми песчаниками, глинистыми сланцами, андезитами и их туфами, базальтами, туфопесчаниками, известняками. На северо-западе области распространены гранитоиды второй фазы приобского комплекса ($P_3 - T_1$) и первой фазы барлакского комплекса (T_{1-2}) [6].

Геохимическая характеристика подземных вод

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

Так, воды первой и наиболее многочисленной группы в основном гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с величиной общей минерализации 127 – 1568 мг/дм³. Eh среды изменяется от восстановительной (-331,6 мВ) до окисли-

тельной (+438,5 мВ) обстановки, рН 6,6 – 8,0 и содержанием $O_{2\text{раств.}}$ 0,29 – 10,43 мг/дм³. Установлены высокие концентрации U (0,015 – 0,338 мг/дм³) в скважинах глубиной 20 – 153 м, воды которых с геохимических позиций можно отнести к группе трещинно-жильных гранитоидов [7-10].

Воды второй группы по составу в основном отвечают HCO_3 Mg-Ca (см. 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), рН 7,1 – 8,3 и содержанием $O_{2\text{раств.}}$ 0,52 – 10,72 мг/дм³. При этом, выявлены превышения в подземных водах над фоновыми концентрациями по бериллию (фон $1,54 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³) в Новосибирском в 5 раз, в Искитимском в 4; по мышьяку (фон $7,44 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³) в Искитимском районе в три раза; по таллию (фон $5,79 \cdot 10^{-6}$ мг/дм³) и торию (фон $1,31 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³) в три раза в Новосибирском районе.

Воды третьей группы гидрокарбонатного магниево-кальциевого и сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава (см. 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 (рН 7,2 – 7,6) с содержанием растворенного кислорода 2,77 – 6,52 мг/дм³.

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 ослабляет и разрушает костную ткань, поражает лёгкие; мышьяка, который приводит к развитию рака и поражениям кожи, ртути поражает нервную, пищеварительную и иммунную системы, таллия – периферическую нервную систему, желудочно-кишечный тракт и почки.

Применение методов математической статистики позволили рассчитать кумулятивные кривые для элементов первого класса опасности, урана и тория, которые отражают процентные значения меньше эталона. В нашем случае эталонном выступает фоновое значение.

В изученных водах по бериллию 20 % проб выше фонового значения и 1% больше ПДК. На картах распределения коэффициента CF выявлены аномалии, находящиеся преимущественно на территориях г. Новосибирска и Новосибирского района НСО (рис. 2 а). Эти аномалии находятся близ гранитоидных массивов, и их появление характеризуется природными факторами. По таллию 20% проб выше фоновых значений и 1% ПДК.

Высокие значения таллия выявлены в г. Новосибирске и Новосибирском районе. Все превышения выявлены рядом с эксплуатируемыми карьерами, а также с гранитоидными массивами (рис. 2 б). По мышьяку значения 20% проб выше фонового и 16% больше ПДК. На всей исследуемой территории отмечаются повышенные содержания мышьяка (рис. 2 в), но особенно стоит выделить объекты в СНТ Маяк (г. Новосибирск, Советский район: As 0,013 – 0,085 мг/дм³), СНТ Химик, с. Сенчанка (Новосибирский 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. Высокие значения CF выявлены в Кировском и Советском районах г. Новосибирска (рис. 2 г).

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

Таким образом, по фактору загрязнения СФ установлено, что в среднем в 82 % проб не выявлены повышенные концентрации элементов первого класса опасности, урана и тория. Если использовать изначальный смысл фактора СФ, то следует, что 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.

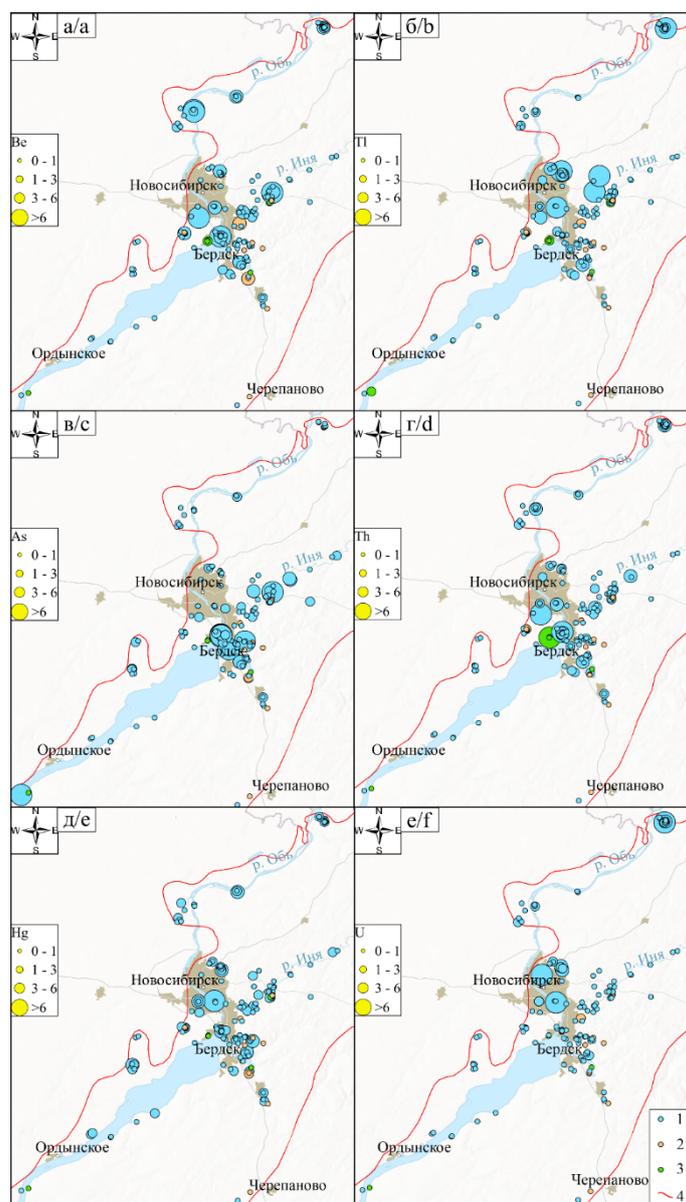


Рис. 2. Карты-схемы распределения коэффициента СФ по элементам первого класса опасности, урана и тория на территории Обь-Зайсанской складчатой области. Условные обозначения см. на рис. 1

Заключение

Из вышенаписанного следует, что в целом подземные воды исследуемого региона по составу гидрокарбонатные магниевые-кальциевые и гидрокарбонатные натриево-магниевые-кальциевые, изменяются от умеренно пресных (минерализация 203 мг/дм³) до слабосоленых (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. Такие содержания 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 находятся выше фонового значения, по торью – 26 %, по урану – 19 %.

Благодарности

Полевые работы выполнены при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ №№ FWZZ-2022-0014, FSWW-0022-2020, аналитические работы по изучению химического состава подземных вод, обоснованию гидрогеохимического фона и аномалий – при поддержке проекта № 22-17-20029 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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). – Москва, 2021. – 65 с.
2. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
3. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 631 p.
4. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.
5. 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.
6. Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г., Жигалов С.В., Долгушин С.С., Ветров Е.В., Кораблева Т.В., Бодина Н.А., Светлова Н.А., Федосеев Г.С., Хилько А.П., Епифанов В.А., Лоскутов Ю.И., Лоскутов И.Ю., Михаревич М.В., Пихутин Е.А. Государственная геологическая

карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44. – Новосибирск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 392 с.

7. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф., Корнеева Т.В., Каменова-Тоцева Р.М., Максимова А.А., Деркачев А.С., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В. Гидрогеология и гидрогеохимия месторождения радоновых вод «Каменское» (г. Новосибирск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 192–208.

8. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Максимова А.А., Пыряев А.Н., Фаге А.Н., Хващевская А.А., Деркачев А.С., Черных А.В. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 57–72.

9. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Сухорукова А.Ф., Вакуленко Л.Г., Пыряев А.Н., Максимова А.А., Деркачев А.С., Фаге А.Н., Хващевская 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.

10. Novikov D.A., Kopylova Yu.G., Pyryaev A.N., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Sukhurokova 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. – Т. 20. – С. 1-11.

© А. А. Максимова, А. В. Черных, А. А. Хващевская, 2023