



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>

УДК 556.3(571.1)

Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области

А. С. Деркачев^{1,2} , А. А. Максимова^{1,2}  , Д. А. Новиков^{1,2} , Ф. Ф. Дульцев^{1,2} ,
А. Ф. Сухорукова¹ , А. В. Черных^{1,2} , А. А. Хващевская³ 

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

✉ rock.nastaya64@gmail.com

Аннотация

Актуальность исследования заключается в получении первых геохимических данных (включая информацию о радионуклидах) о дренажных водах разрабатываемых и затопленных карьеров в пределах восточных районов Новосибирской области. Целью исследования является выявление особенностей химического состава дренажных вод (широкого спектра химических элементов от Li до U). Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии (ПНИЛ ГХ) Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета (ИШПР ТПУ). Измерение содержаний ²²²Rn в водах проводилось на комплексе «Альфарад плюс» в лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГТ СО РАН). Разделение данных на однородные геохимические совокупности выполнено с помощью коэффициентов Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si. Установлено, что химический состав изученных объектов весьма разнообразен. Доминируют воды SO₄–HCO₃ Na–Mg–Ca состава с величиной общей минерализации от 400 до 700 мг/дм³. Выявлены три геохимические группы вод. Первая представлена дренажными водами разрабатываемых карьеров бутового камня, вторая включает в себя объекты Горловского угольного бассейна и третья – отработанные затопленные карьеры. Первая группа характеризуется окислительными параметрами геохимической среды с Eh, изменяющимся в широком диапазоне от +84,6 до +261,0 мВ, pH от 6,9 до 8,6 и O₂ раств. от 3,43 до 14,39 мг/дм³. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U 9,30·10^{–3} – 1,40; ²³²Th 1,00·10^{–6} – 2,16·10^{–3}; активность ²²²Rn изменяется от 1 до 572,5 Бк/дм³. Отношение ²³²Th/²³⁸U находится в диапазоне от 4,20·10^{–5} до 2,69·10^{–3} при среднем 8,40·10^{–4}. Вторая группа отличается меньшей вариацией Eh от +133,2 до +199,6 мВ, pH от 7,5 до 8,5 и O₂ раств. от 6,81 до 10,43 мг/дм³. Концентрации радионуклидов изменяются (мг/дм³): ²³⁸U 2,26·10^{–3} – 2,90·10^{–2}; ²³²Th 7,15·10^{–6} – 5,57·10^{–4}. Отношение ²³²Th/²³⁸U находится в диапазоне от 8,37·10^{–4} до 4,80·10^{–2} при среднем 9,54·10^{–3}. Третья группа также характеризуется окислительной геохимической обстановкой с Eh +131,3– +250,0 мВ, pH от 6,9 до 8,8 и O₂ раств. от 4,00 до 16,59 мг/дм³. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U 3,00·10^{–4} – 2,74·10^{–2}; ²³²Th 1,65·10^{–6} – 1,15·10^{–5}; активность ²²²Rn изменяется от 2 до 31 Бк/дм³. Отношение ²³²Th/²³⁸U находится в диапазоне от 2,36·10^{–4} до 1,02·10^{–3} при среднем 6,25·10^{–4}. В целом ²³²Th/²³⁸U отношение изученных вод свидетельствует об их урановой природе радиоактивности. Полученные данные говорят о незначительном влиянии сброса дренажных вод разрабатываемых месторождений полезных ископаемых на окружающую среду.

Ключевые слова

дренажные воды, геохимия, радионуклиды, карьеры, Новосибирская область, Западная Сибирь

Благодарности

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014 и № FSWW-0022-2020, аналитические работы по изучению химического состава дренажных вод выполнены при поддержке проекта № 22-17-20029 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

Для цитирования

Derkachev A.S., Maksimova A.A., Novikov D.A., Dultsev F.F., Sukhorukova A.F., Chernykh A.V., Khvashchinskaya A.A. Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):216–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>



SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Research paper

Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region

A. S. Derkachev^{1,2} , A. A. Maksimova^{1,2}  , D. A. Novikov^{1,2}  , F. F. Dultsev  ,
A. F. Sukhorukova¹ , A. V. Chernykh^{1,2}  , A. A. Khvashevskaya³ 

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

 rock.nastaya64@gmail.com

Abstract

This study is relevant for obtaining the first geochemical data (including information on radionuclides) on the drainage waters of developed and flooded quarries in the eastern areas of the Novosibirsk Region. The objective of the study was to identify the features of the chemical composition of drainage waters (a wide range of chemical elements from Li to U). The study was carried out by titrimetry, ion chromatography and mass spectrometry with inductively coupled plasma in a laboratory setting at the Hydrogeochemical Problem Research Laboratory (PNIL GGH) of the Engineering School of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University (IShPR TPU). Measurements of ^{222}Rn in waters were carried out at the Alfarad Plus facility of the Laboratory of Siberian Sedimentary Basins Hydrogeology of the A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (INGG SB RAS). The data were divided into homogeneous geochemical populations using the coefficients Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si. The chemical composition of the studied objects was found to be highly diverse. The dominant waters have the chemical formula $\text{SO}_4\text{--HCO}_3/\text{Na--Mg--Ca}$ with a TDS (total dissolved solids) of 400 to 700 mg/dm³. Three geochemical groups of waters were identified. The first is represented by drainage waters of the developed rubble stone quarries, the second includes facilities of the Gorlovka coal basin, and the third refers to abandoned flooded quarries. The first group is characterized by oxidizing conditions with Eh varying over a wide range from +84.6 to +261.0 mV, pH from 6.9 to 8.6, and $\text{O}_{2\text{dissolved}}$ from 3.43 to 14.39 mg/dm³. The radionuclide concentrations are (mg/dm³): ^{238}U $9.30 \cdot 10^{-3} - 1.40$; ^{232}Th $1.00 \cdot 10^{-6} - 2.16 \cdot 10^{-3}$; ^{222}Rn activity varies from 1 to 572.5 Bq/dm³. The $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio ranges from $4.20 \cdot 10^{-5}$ to $2.69 \cdot 10^{-3}$ with an average of $8.40 \cdot 10^{-4}$. The second group has a smaller Eh variation range of +133.2 to +199.6 mV, pH from 7.5 to 8.5, and $\text{O}_{2\text{dissolved}}$ from 6.81 to 10.43 mg/dm³. The radionuclide concentrations vary in the following ranges (mg/dm³): ^{238}U $2.26 \cdot 10^{-3} - 2.90 \cdot 10^{-2}$; ^{232}Th $7.5 \cdot 10^{-6} - 5.57 \cdot 10^{-4}$. The $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio ranges from $8.37 \cdot 10^{-4}$ to $4.80 \cdot 10^{-2}$ at an average of $9.54 \cdot 10^{-3}$. The third group is also characterized by an oxidizing geochemical environment with Eh +131.3 – +250.0 mV, pH from 6.9 to 8.8 and $\text{O}_{2\text{dissolved}}$ from 4.00 to 16.59 mg/dm³. The radionuclide concentrations are (mg/dm³): ^{238}U $3.00 \cdot 10^{-4} - 2.74 \cdot 10^{-2}$; ^{232}Th $1.65 \cdot 10^{-6} - 1.15 \cdot 10^{-5}$; ^{222}Rn activity varies from 2 to 31 Bq/dm³. The $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio ranges from $2.36 \cdot 10^{-4}$ to $1.02 \cdot 10^{-3}$ at an average of $6.25 \cdot 10^{-4}$. Overall, the $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio of the studied waters indicates their uranium nature of radioactivity. The data obtained indicate a slight impact of the drainage water discharge from the abandoned quarries on the environment.

Keywords

drainage waters, geochemistry, radionuclides, quarries, Novosibirsk Region, Western Siberia

Acknowledgments

Field research was carried out with the financial support of Nos. FWZZ-2022-0014 and FSWW-0022-2020 projects of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Chemical analyses of drainage water were performed with the support of the Russian Science Foundation and the Government of the Novosibirsk Region (project No. 22-17-20029).

For citation

Derkachev A. S., Maksimova A. A., Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Chernykh A. V., Khvashevskaya A. A. Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):216–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>

Введение

Новосибирск является единственным крупным городом России, в окрестностях которого открыто урановое месторождение «Пригородное», и поэтому присутствие радионуклидов в водах носит природный характер. Их повышенные содержания обусловлены наличием рассеянных радиоактивных минералов в гранитоидах крупного Новосибирского

массива. В 1980–1990-е годы в Новосибирской области были выявлены более десяти месторождений радоновых вод, которые использовались в лечебных целях (самые известные: санаторий «Заельцовский Бор», «Горводолечебница», профилакторий завода Химконцентратов). Выявленные месторождения до 2010-х годов практически не были описаны в научной литературе [1–3].



В мировой научной литературе наибольшее число исследований посвящено изучению геологических [4–6], гидрогеологических [7, 8] и геохимических [9–11] факторов, влияющих на распределение природных радионуклидов в водах различного изотопно-гидрогеохимического облика. В России на протяжении длительного времени ведутся исследования, направленные на изучение различных аспектов радиохимии природных вод и моделирование геохимических процессов в водных средах. Среди последних работ в данной области следует отметить исследования по геохимии донных осадков [12, 13], технологии извлечения радионуклидов из природных вод [14, 15], геохимическим особенностям разных типов природных вод [16–18] и их изотопии [19–22], вопросам разработки месторождений полезных ископаемых [23, 24] и другим.

Ситуация с изученностью природных вод Новосибирской области (НСО) стала меняться в лучшую сторону в последние годы, что связано с работами лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН по изучению гидрогеологических условий месторождений радоновых вод [25], их изотопно-геохимических особенностей [26], механизмов формирования их состава [27] и с мониторингом радионуклидов [28]. Особыми объектами в этих исследованиях выступают разрабатываемые и затопленные карьеры при отработке разных видов полезных ископаемых (строительный щебень, уголь, мрамор, песок). Большое внимание уделяется изучению широкого спектра химических элементов (от Li до U), что связано с развитием гидрогеохимического метода поисков полезных ископаемых. Немаловажным фактором является оценка влияния сброса дренажных вод на окружающую среду, в первую очередь степень их радиологической опасности, что и выполнено в настоящем исследовании.

Методика и объект исследования

Непосредственно на объектах было выполнено определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O_2 , HCO_3^- с помощью оборудования (Нанпа HI9125, кислородомер АКПМ-1-02Л) и полевой гидрогеохимической лаборатории. Измерение содержаний ^{222}Rn в водах проводилось на комплексе «Альфарад плюс» в лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН. Последующее изучение химического состава 31 пробы вод методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП) проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ (аналитики О.В. Чеботарева, Н.В. Бублий, А.С. Погуца, В.В. Куровская, К.Б. Кривцова, Л.А. Ракул).

Название химического типа дано по классификации С.А. Шукарева (в формулу добавлены макрокомпоненты с содержанием $>10\%$ -экв) по оттеночному принципу от меньшего к большему.

Разделение данных на однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава с оценкой интенсивности их проявления выполнено на основе соотношения химических эле-

ментов в водах. Коэффициенты Ca/Na , Ca/Mg , Ca/Si , Mg/Si , Na/Si использованы для оценки особенностей обогащения вод за счет процессов гидролиза алюмосиликатов и конгруэнтного растворения карбонатов; $SO_4/Cl \gg 1$ и $rNa/rCl \gg 1$ – гидролиза алюмосиликатов и окисления сульфидных минералов; пропорциональное увеличение значений $SO_4/Cl = 1$, $rNa/rCl \geq 1$, $Ca/Na > 0$ – испарительного концентрирования.

Гидрогеологическое строение

Изучаемые карьеры распределены по большой территории. Расстояние между наиболее удаленными превышает 200 км. Среди изучаемых объектов есть как действующие, так и отработанные, на настоящий момент затопленные. В списке изученных преобладают гранитные карьеры. Также рассматривались угольные, песчаные и один мраморный карьер. Наиболее многочисленная группа гранитных карьеров представлена действующими: Борок, Новобибеевский, Скалинский; и затопленными: Тулинским, Каменским и Горским. Группа действующих карьеров Горловского угольного бассейна (Ургунский, Горловский и Колыванский) расположена в Искитимском районе Новосибирской области. Песчаные карьеры представлены затопленными Кировским и Подгорным. Группа мраморных карьеров включает один объект – Абрашинский карьер в Ордынском районе Новосибирской области. В целом гидрогеологические условия рассматриваемых карьеров схожи: выделяется два гидрогеологических комплекса: верхний – осадочный чехол кайнозойского возраста, и нижний – консолидированные породы палеозойского фундамента, прорванные позднепалеозойскими интрузиями гранитоидного состава. Кайнозойские отложения, как правило, представлены аллювиальными осадками р. Обь и ее притоков различных порядков, а также породы кочковской ($Q_{E1} kC_1$) и краснодубровской ($sa Q_{1-II} kd$) свит.

Начать рассмотрение предлагаем с наиболее представительной группы гранитных карьеров. Следует упомянуть, что они расположены в пределах различных гранитоидных массивов. Так, карьеры Борок, Тулинский, Каменский и Горский заложены в гранитах Новосибирского гранитоидного массива, Новобибеевский – Обского массива. Оба этих массива принадлежат Приобскому монцодиорит-граносиенит-гранитному мезоабиссальному комплексу (P_3-T_1p). Скалинский карьер ведет добычу гранитов из Колыванского гранитоидного массива, принадлежащего Барлакскому гранит-лейкогранитовому мезоабиссальному комплексу ($T_{1-2}b$) [29].

Обский массив является петротипическим. Первая фаза внедрения имеет весьма ограниченное распространение и в данной работе не рассматривается. Вторая, главная фаза сложена биотитовыми и роговообманково-биотитовыми монцогранитами, реже граносиенитами, гранитами и гранодиоритами. Умереннокислые гранитоиды тяготеют к эндоконтактовым зонам массива. К третьей фазе отнесены редкие дайки мелкозернистых монцогранитов, монцолейкогранитов, монцогранит-порфиров, монцолейкогранит-порфиров, жилы аплитов и пегматитов. В Новобибеевском

карьере и коренных выходах по берегу р. Обь зафиксированы крупные и мелкие ксенолиты кварцевых монцодиоритов и кварцевых диоритов в гранитах. Новосибирский массив также включает вторую и третью фазы. Вторая – представлена роговообманково-биотитовыми монцогранитами, граносиенитами, нормальнощелочными гранитами и гранодиоритами. В породе присутствует зеленая роговая обманка, бурый биотит. Железистость биотита составляет 40–55 [30].

В списке акцессорных минералов сфен, циркон, апатит, магнетит, ильменит и флюорит [29]. Третья фаза представлена небольшими телами наклонных штоков северо-восточного простирания и даек мощностью до 15 м. По составу штоки монцогранит-порфировые, дайки – монцогранит-порфировые, характерны мелкозернистые монцолейкограниты, кварцевые монцодиорит-порфиры и спессартиты.

Монцогранит-порфиры имеют схожий состав с мелкозернистыми монцолейкогранитами, порфиры сложены полевыми шпатами. В монцолейкогранитах же относительно монцогранитов повышено содержание кварца и калинатового шпата, а плагиоклаза – понижено. Карьер Борок находится в контактовой зоне Новосибирского массива. Здесь контакт резкий, падает в сторону вмещающих пород, нередко представлен жилами и дайками лейкогранитов и аплитов.

Рассматриваемые угольные карьеры соответствуют одноименным месторождениям, находящимся в пределах Горловского угольного бассейна. Последний имеет весьма сложное геологическое строение и представляет собой узкую (4–8 км) грабен-синклиналь, вытянутую с северо-запада на юго-восток и зажатую между Колывань-Томской складчатой зоной на северо-западе и Салаирским краем на востоке.

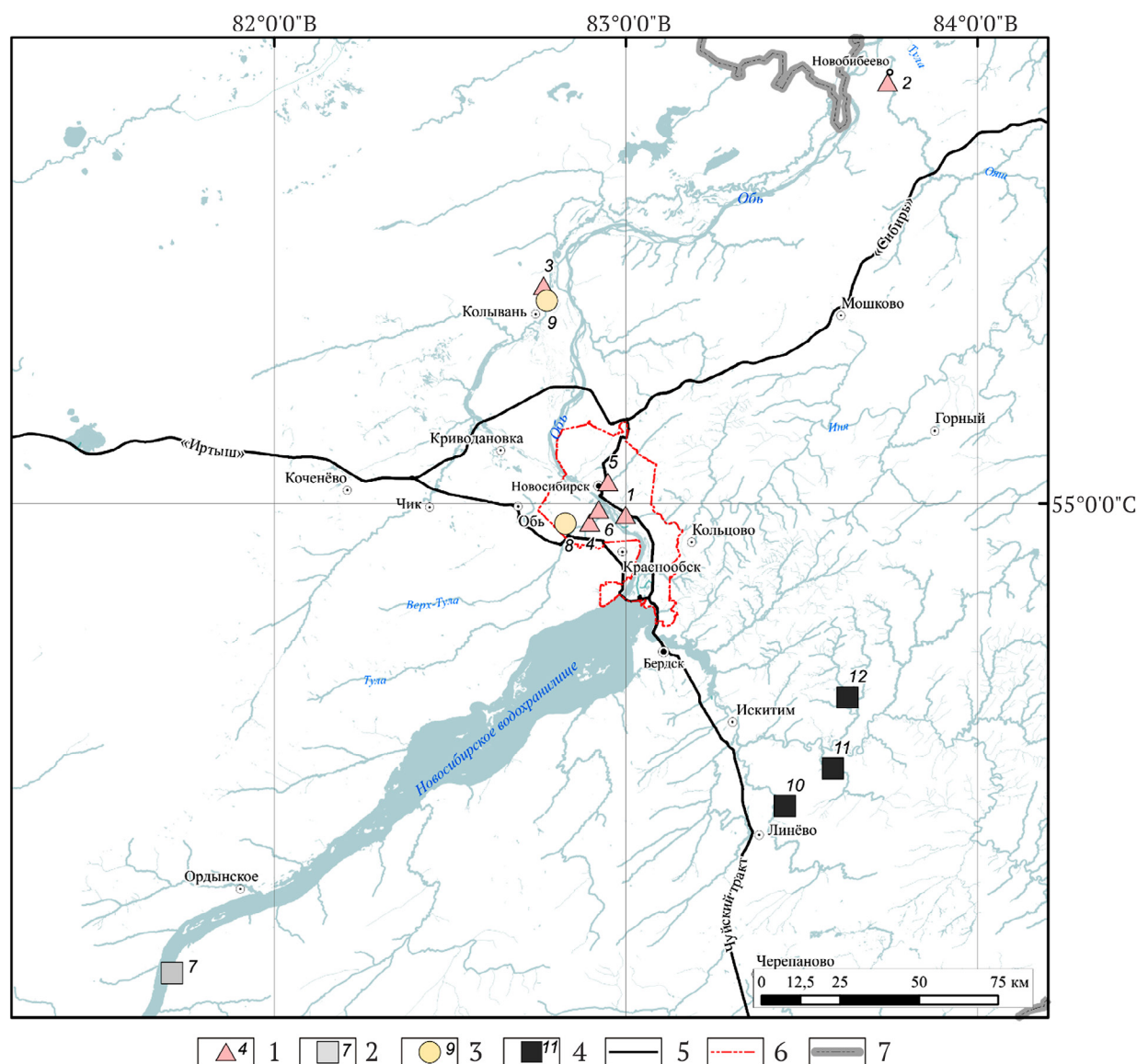


Рис. 1. Местоположение изученных объектов

1–4 – карьеры: 1 – гранитные; 2 – мраморный; 3 – песчаные; 4 – угольные; 5 – федеральные трассы; 6 – граница г. Новосибирск; 7 – граница Новосибирской области; 1–3, 10–12 – действующие: 1 – Борок; 2 – Новобибеевский; 3 – Скалинский; 4–9 – затопленные: 4 – Тулинский; 5 – Каменский; 6 – Горский; 7 – Абрашинский; 8 – Кировский; 9 – Подгорный; 10 – Ургунский; 11 – Горловский; 12 – Колыванский

Для данного бассейна характерна единая обводненная зона трещиноватости в осадочно-терригенных верхнепалеозойских породах: угленосных песчаниках средне- и мелкозернистых, алевролитах, аргиллитах, углистых аргиллитах и пластах угля.

Рассмотренные карьеры по добыче строительного песка характеризуются различным положением относительно гранитоидных массивов: карьер Подгорный находится во внутренней части Колыванского гранитоидного массива, в то время как Кировский песчаный карьер находится в экзоконтактной зоне Новосибирского гранитоидного массива. Последний был ориентирован на добычу тонко-, мелкозернистых песков из аллювиальных отложений второй надпойменной террасы р. Обь. В карьере Подгорный отрабатывались пески из отложений первой надпойменной террасы р. Обь.

Мраморный карьер Абрашинский расположен в области распространения буготагской свиты (D_2bg). Помимо эффузивных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, а также субвулканических обра-

зований, данное стратиграфическое подразделение включает слои мраморизованных известняков. Таким образом, эта геологическая обстановка дает основания предположить, что образование мраморов Абрашинского месторождения произошло при воздействии магматического тела на известняки буготагской свиты. Таким плутоном мог являться шток габбродолеритового состава, расположенный не далее 3 км к западу от карьера. Кроме того, карьер расположен внутри тектонического блока, поэтому метаморфизованные породы и источник тепла могли быть разнесены вдоль тектонической границы.

Геохимические особенности

Анализ имеющихся данных по составу дренажных вод позволил выделить по коэффициентам (Ca/Na , Ca/Mg , Ca/Si , Mg/Si , Na/Si , Si/Na , rNa/rCl и SO_4/Cl) три геохимические совокупности. Первая включает в себя дренажные воды отрабатываемых гранитных карьеров (Новобибеевский, Скалинский, Борок). Им присущи следующие значения коэффициентов: Ca/Si

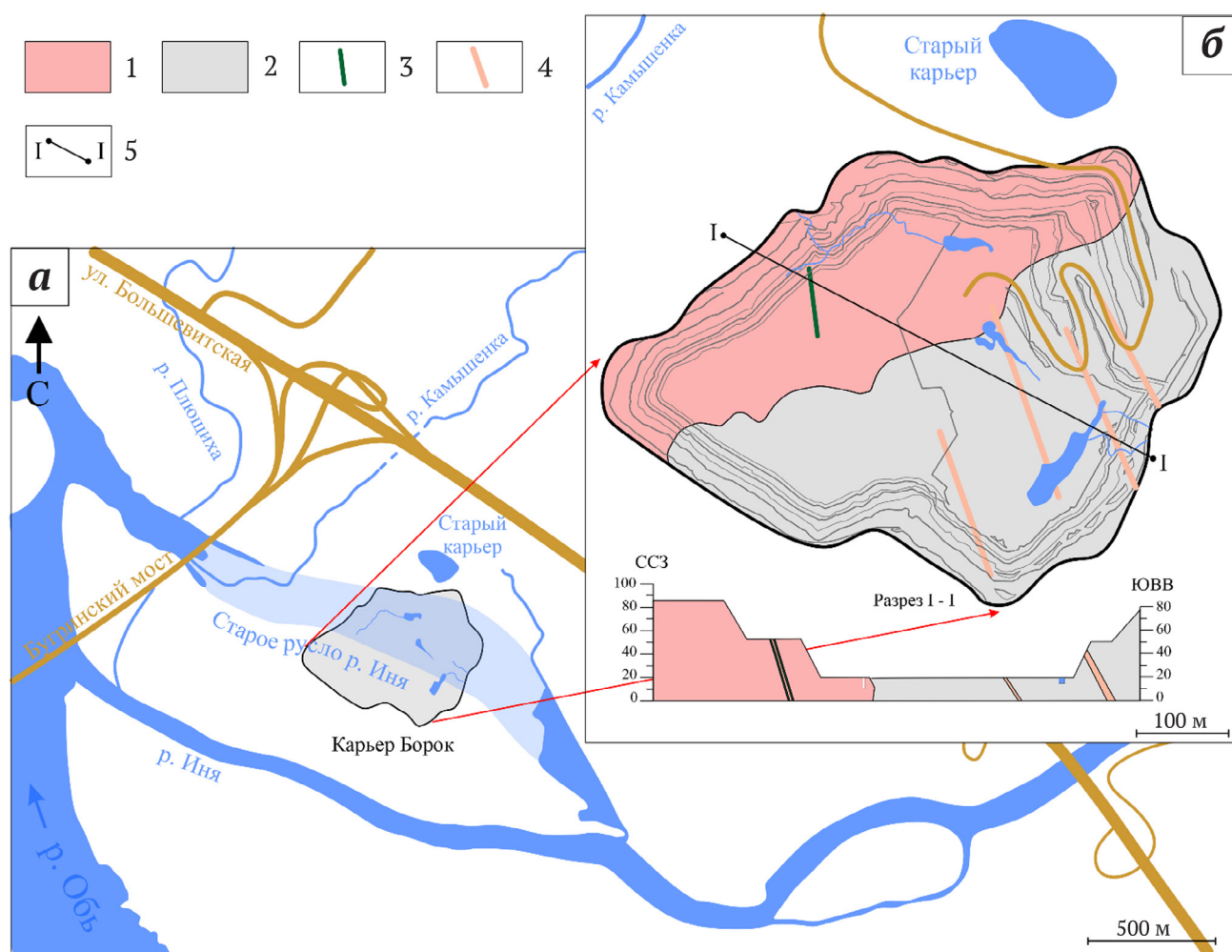


Рис. 2. Местоположение карьера Борок (а) и схема геологического строения (б):

1 – гранитоиды; 2 – роговики; 3 – лампрофиты; 4 – гранодиориты; 5 – линия разреза

Вмещающие породы представлены песчано-глинистыми сланцами пачинской свиты верхнего девона, которые в результате контактового метаморфизма превращены в роговики. Колыванский массив сложен среднезернистыми гранитоидами.

Преобладают монцелейкограниты. Породы второй фазы представлены дайками мощностью до 3 м мелкозернистых монцелейкогранитов. Простираение даек северо-восточное, до субширотного. Отмечаются жилы, линзы, гнезда пегматитов

17,61; Mg/Si 4,17; Na/Si 6,73; Mg/Na 4,17; Si/Na 0,25; Ca/Na 2,84; Ca/Mg 4,23; rNa/rCl 5,24; SO₄/Cl 9,14. Вторая представлена водами угольных карьеров (Ургунский, Горский, Колыванский). Они отличаются от предыдущих ростом отношений Ca/Si 21,49; Mg/Si 9,78; Na/Si 14,89; Mg/Na 9,78; rNa/rCl 7,38; SO₄/Cl 24,91 и снижением Si/Na 0,10; Ca/Na 2,36; Ca/Mg 2,26. Третья включает в себя воды затопленных карьеров (гранитные: Горский, Тулинский; песчаные – Кировский, Подгорный; мраморный – Абрашинский), которые по геохимическим коэффициентам отличаются от объектов Горловского угольного бассейна ростом Ca/Si

95,84; Mg/Si 51,02; Na/Si 58,82; Mg/Na 50,58; Ca/Mg 3,88 и снижением Si/Na 0,05; Ca/Na 1,75; rNa/rCl 1,77; SO₄/Cl 1,79. Если воды затопленных карьеров сравнивать с первой группой, то отмечается рост отношений Ca/Si 95,84; Mg/Si 51,02; Na/Si 58,82; Mg/Na 50,58 и снижение Ca/Mg 3,88; Si/Na 0,05; Ca/Na 1,75; rNa/rCl 1,77; SO₄/Cl 1,79.

В работе были изучены дренажные воды карьеров Борок, Каменский, Тулинский и Горский, расположенных в пределах НСО (одноименный массив). Так, воды карьера *Борок* характеризуются SO₄–HCO₃ Na–Mg–Ca, Cl–SO₄–HCO₃ Mg–Na–Ca и Cl–SO₄–HCO₃



Рис. 3. Изученные объекты. Карьеры: Борок (а); Колыванский (б); Кировский (в); Горский (г); Абрашинский (д)



Na–Mg–Ca составом (рис. 4, табл. 1) с величиной общей минерализации 583–697 мг/дм³ и содержанием кремния 0,89–10,53 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +150,2 – +261,0 мВ, pH 7,6–8,5 и содержанием O_{2раств.} 3,43 – 11,43 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 23,54; Mg/Si 5,32; Na/Si 9,64; Mg/Na 0,53; Si/Na 1,15; Ca/Na 2,34; Ca/Mg 4,49; rNa/rCl 2,67; SO₄/Cl 3,63 (рис. 5).

Воды Каменского карьера отличаются SO₄–Cl–HCO₃ Ca–Na составом с величиной общей минерализации 166–349 мг/дм³ и содержанием кремния 1,87–4,21 мг/дм³. Воды отличаются слабощелочным pH 7,6–8,5 и содержанием O_{2раств.} 4,00 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты возрастают для Ca/Mg 8,68, а уменьшаются для Mg/Na 0,24; Ca/Na 1,52; rNa/rCl 1,19; SO₄/Cl 0,76. Воды Тулинского карьера Cl–SO₄–HCO₃ Na–Ca–Mg и SO₄–Cl–HCO₃ Ca–Mg–Na состава с величиной общей минерализации 454–541 мг/дм³ и содержанием кремния 0,32–0,78 мг/дм³. Геохимические параметры среды отве-

чают окислительной обстановке с Eh +131,3 – +250,0 мВ, pH 8,7–8,8 и содержанием O_{2раств.} 8,58 – 11,30 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты составляют Ca/Si 88,39; Mg/Si 60,92; Na/Si 103,45; Mg/Na 0,66; Si/Na 0,01; Ca/Na 0,92; Ca/Mg 1,43; rNa/rCl 2,06; SO₄/Cl 1,51. Воды Горского карьера отличаются Cl–SO₄–HCO₃ Na–Mg–Ca и SO₄–Cl–HCO₃ Na–Mg–Ca составом с величиной общей минерализации 403 мг/дм³ и содержанием кремния 0,25–0,40 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +139,3 – +250,0 мВ, pH 8,5–8,7 и содержанием O_{2раств.} 8,20–16,59 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты возрастают для Ca/Si 154,83; Mg/Si 81,38; Mg/Na 1,13; Ca/Na 2,17; Ca/Mg 1,91, а снижаются Na/Si 74,32; rNa/rCl 1,05; SO₄/Cl 1,33, сопоставимые значения характерны для Si/Na 0,02. В целом для всех карьеров значения геохимических коэффициентов указывают на процессы окисления сульфидов, что ярко выражено в величинах отношений SO₄/Cl (0,67–11,51) и rNa/rCl (0,53–9,19).

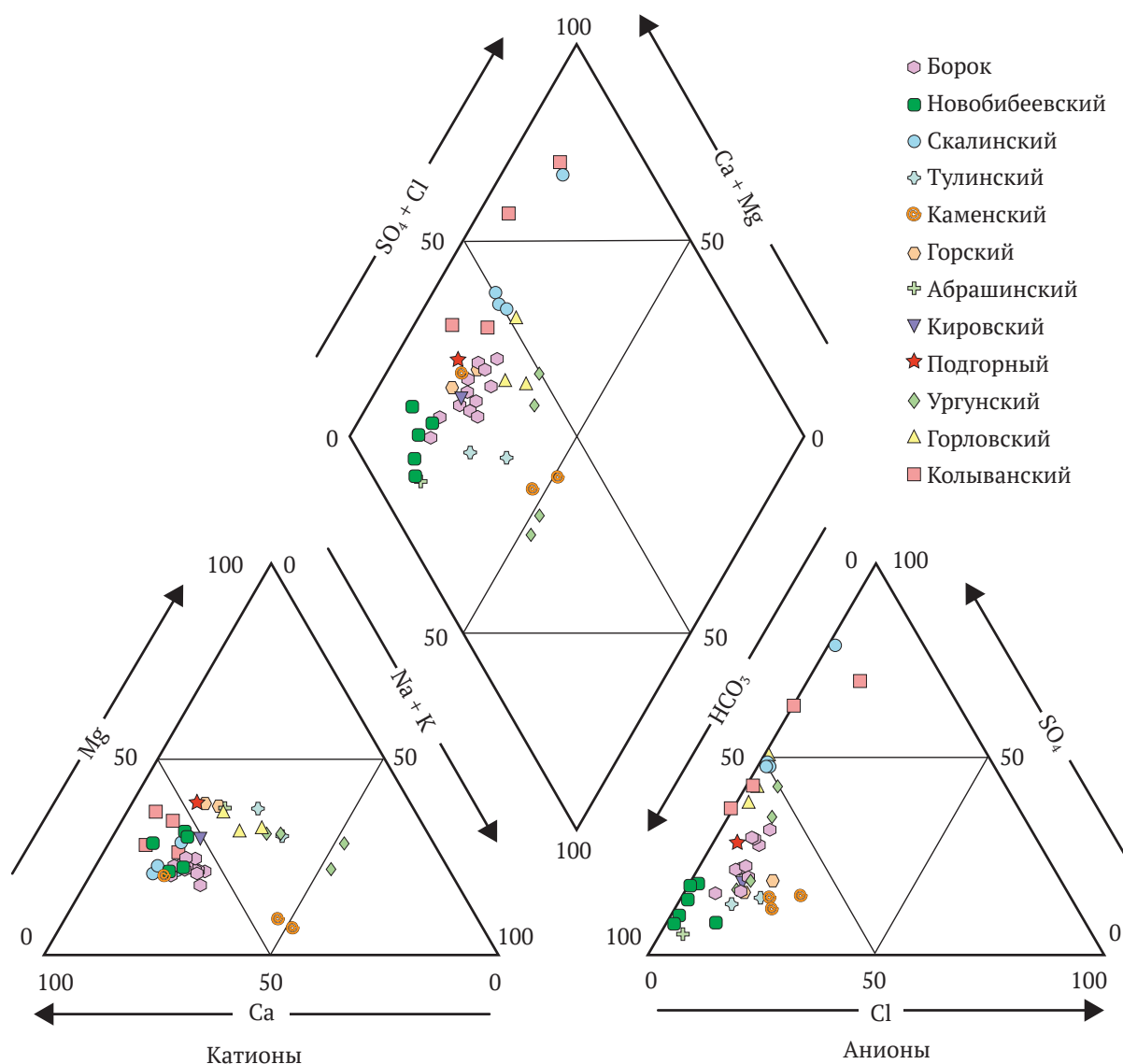


Рис. 4. Диаграмма Пайпера химического состава дренажных вод



Таблица 1

Химический состав дренажных вод карьеров Новосибирской области

№ на рис. 1	pH	Eh, мВ	O ₂ , мг/дм ³	²²² Rn, Бк/дм ³	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	M	Si	Th	U	Th/U	Химический тип
					мг/дм ³												
1	8,3	261,0	9,30	17	378	96	38	101	22	50	4,2	697	6,98	5,10·10 ⁻⁵	9,26·10 ⁻²	5,51·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,1	225,0	10,58	19	371	107	32	109	25	41	4,0	696	0,89	1,24·10 ⁻⁵	1,08·10 ⁻²	1,15·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,3	256,3	10,90	4	378	90	34	102	19	54	3,9	687	7,07	9,90·10 ⁻⁶	8,00·10 ⁻²	1,24·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,3	246,5	11,21	1	348	82	28	90	21	45	3,6	619	6,70	5,40·10 ⁻⁶	2,96·10 ⁻²	1,82·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,3	244,7	11,43	8	388	58	25	99	22	35	2,7	630	5,96	6,50·10 ⁻⁶	9,30·10 ⁻³	6,99·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,5	215,8	11,10	16	386	61	5	95	18	32	5,0	603	5,03	1,00·10 ⁻⁶	1,03·10 ⁻²	9,71·10 ⁻⁵	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,6	194,3	3,61	45	319	111	36	97	26	44	4,7	660	7,74	1,39·10 ⁻⁵	1,16E-01	1,20·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,2	195,1	8,55	38	308	113	29	94	24	37	3,9	619	6,70	–	1,19·10 ⁻²	–	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,6	184,7	3,43	88	320	118	28	95	22	50	6,2	663	10,53	5,48·10 ⁻⁵	2,13·10 ⁻¹	2,57·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,2	209,7	8,98	89	331	56	37	89	21	36	4,7	583	4,85	1,54·10 ⁻⁵	1,03·10 ⁻²	1,49·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,9	201,7	7,52	51	352	77	41	101	22	41	4,5	652	6,56	9,62·10 ⁻⁵	9,15·10 ⁻²	1,05·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,0	150,2	7,11	57	272	116	34	91	21	43	3,9	605	7,11	4,62·10 ⁻⁵	7,95·10 ⁻²	5,81·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
2	7,8	107,8	6,49	25	224	20	3	55	15	20	3,3	385	7,00	2,60·10 ⁻⁶	1,07·10 ⁻²	2,43·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,0	111,0	7,91	15	248	28	3	65	16	20	3,0	434	6,49	–	1,02·10 ⁻²	–	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,6	121,7	14,39	6	232	48	3	58	22	20	2,3	433	5,02	1,76·10 ⁻⁵	1,02·10 ⁻²	1,72·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	7,9	139,7	7,88	39	256	40	3	62	25	20	2,9	461	5,72	2,90·10 ⁻⁵	1,08·10 ⁻²	2,69·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,1	145,6	7,44	2	268	43	3	72	20	13	4,5	423	9,60	3,10·10 ⁻⁵	1,16·10 ⁻²	2,67·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca
3	6,9	84,6	4,58	573	67,1	215	6	120	22	29	5,1	787	8,34	2,96·10 ⁻⁴	1,40	2,12·10 ⁻⁴	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
3	6,9	153,6	4,60	495	140	106	7	105	22	27	4,1	773	8,22	3,93·10 ⁻⁵	9,38·10 ⁻¹	4,20·10 ⁻⁵	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
3	7,0	167,0	4,49	154	98	73	4	63	19	20	4,5	282	10,21	3,90·10 ⁻⁴	1,16	3,35·10 ⁻⁴	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
3	7,0	164,5	3,75	259	98	77	4	62	13	21	4,5	279	9,96	2,16·10 ⁻³	1,21	1,78·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
4	8,8	250,0	11,30	2	325	53	31	46	35	43	7,8	541	0,78	3,20·10 ⁻⁶	1,21·10 ⁻²	2,64·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Ca-Mg
4	8,7	131,3	8,58	–	244	49	38	37	24	48	8,6	454	0,32	7,08·10 ⁻⁶	1,23·10 ⁻²	5,77·10 ⁻⁴	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Mg-Na
5	7,5	–	–	–	109	18	20	–	–	–	–	166	3,27	–	–	–	–
5	6,9	–	4,00	–	183	24	36	59	11	19	–	349	4,21	–	–	–	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na-Mg-Ca
5	–	–	–	–	146	28	39	35	3	51	–	316	1,87	–	–	–	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Na
5	7,5	–	–	–	109	18	20	27	3	35	–	231	3,27	–	–	–	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Na
5	–	–	–	–	146	28	39	–	–	–	–	228	1,87	–	–	–	–
6	8,7	250,0	16,59	–	239	40	29	48	24	20	3,7	403	0,40	1,00·10 ⁻⁵	9,80·10 ⁻³	1,02·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
6	8,5	139,3	8,21	–	207	47	37	48	26	25	4,5	403	0,25	1,15·10 ⁻⁵	1,24·10 ⁻²	9,30·10 ⁻⁴	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na-Mg-Ca
7	8,6	144,0	5,42	31	239	16	8	36	22	22	1,4	353	0,29	1,65·10 ⁻⁶	2,28·10 ⁻³	7,24·10 ⁻⁴	HCO ₃ Na-Ca-Mg
8	8,7	205,0	15,50	2	449	107	45	100	41	45	2,0	789	1,29	–	3,00·10 ⁻⁴	–	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
9	8,4	186,5	9,34	–	177	59	11	42	21	15	3,2	330	0,18	6,47·10 ⁻⁶	2,74·10 ⁻²	2,36·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
10	8,3	145,6	7,70	–	561	96	57	65	33	158	2,5	973	6,55	1,92·10 ⁻⁵	5,97·10 ⁻³	3,22·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca-Na
10	8,2	160,4	8,16	–	378	186	44	72	42	97	3,9	823	3,68	1,40·10 ⁻⁵	1,67·10 ⁻²	8,37·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca-Na
10	7,5	148,8	6,81	–	360	240	36	83	43	94	4,4	860	5,24	3,78·10 ⁻⁵	1,30·10 ⁻²	2,91·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
10	8,5	133,2	8,26	–	344	71	43	32	28	102	2,5	625	6,59	2,68·10 ⁻⁵	7,86·10 ⁻³	3,41·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Ca-Mg-Na
11	8,1	174,7	8,58	–	315	289	4	90	53	54	2,9	808	4,15	7,15·10 ⁻⁶	3,41·10 ⁻³	2,10·10 ⁻³	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
11	7,7	185,2	7,44	–	421	243	12	96	51	77	3,2	907	4,19	1,59·10 ⁻⁵	2,26·10 ⁻³	7,02·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
11	7,8	190,4	7,61	–	414	285	11	88	54	94	4,4	950	4,15	4,68·10 ⁻⁵	4,02·10 ⁻³	1,17·10 ⁻²	SO ₄ -HCO ₃ Na-Ca-Mg
12	7,8	190,7	7,65	–	302	182	9	104	28	36	3,0	673	5,25	–	9,16·10 ⁻³	–	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
12	7,5	198,8	8,40	–	153	456	65	150	56	40	1,7	922	4,62	5,57·10 ⁻⁴	1,16·10 ⁻²	4,80·10 ⁻²	Cl-HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
12	8,0	194,8	10,43	–	257	118	2	84	22	13	3,3	500	3,80	9,32·10 ⁻⁶	1,11·10 ⁻²	8,39·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca
12	8,0	199,6	9,18	–	366	502	9	190	72	28	4,1	1171	4,13	4,47·10 ⁻⁴	2,90·10 ⁻²	1,54·10 ⁻²	HCO ₃ -SO ₄ Mg-Ca

Примечание: «–» – нет данных; М – величина общей минерализации.



Воды карьера *Новобибеевский* дренируют гранитоиды Обского массива и характеризуются $\text{SO}_4\text{--HCO}_3$ Na–Mg–Ca составом с величиной общей минерализации 385–461 мг/дм³ и содержанием кремния 5,02–9,60 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +107,8 – +145,6 мВ, pH 7,8–8,6 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 6,50–14,38 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты составляют Ca/Si 9,55; Mg/Si 3,07; Na/Si 2,97; Mg/Na 1,08; Si/Na 0,39; Ca/Na 3,51; Ca/Mg 3,33; rNa/rCl 9,46; SO_4/Cl 11,49. Воды *Скалинского* карьера соотносятся с Барлакским гранит-лейкогранитовым мезоабиссальным комплексом. Они относятся к $\text{HCO}_3\text{--SO}_4$ Na–Mg–Ca и $\text{SO}_4\text{--HCO}_3$ Na–Mg–Ca типам с величиной общей минерализации 279–787 мг/дм³ и содержанием кремния 8,22–10,21 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +84,6 – +167,0 мВ, pH 6,9–7,0 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 3,75–4,60 мг/дм³. В сравнении с водами Новобибеевского карьера средние значения геохимических коэффициентов практически сопоставимы и составляют: Ca/Si 9,89; Mg/Si 2,12; Na/Si 2,71; Mg/Na 0,78; Si/Na 0,39; Ca/Na 3,52; Ca/Mg 4,59; rNa/rCl 7,65; SO_4/Cl 22,76.

Дренажные воды *Горловского* угольного бассейна изучены в нескольких карьерах. Так, воды Горловского карьера характеризуются $\text{HCO}_3\text{--SO}_4$ Na–Mg–Ca и $\text{SO}_4\text{--HCO}_3$ Na–Mg–Ca составом с величиной об-

щей минерализации 808–950 мг/дм³ и содержанием кремния 8,22–10,21 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +174,7 – +190,4 мВ, pH 7,7–8,1 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 7,44–8,58 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 21,95; Mg/Si 12,70; Na/Si 18,01; Mg/Na 0,74; Si/Na 0,06; Ca/Na 1,28; Ca/Mg 1,73; rNa/rCl 14,36; SO_4/Cl 38,19. Воды *Ургунского* карьера характеризуются Cl– $\text{SO}_4\text{--HCO}_3$ Mg–Ca–Na составом с величиной общей минерализации 625–973 мг/дм³ и содержанием кремния 3,68–6,59 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +133,2 – +160,4 мВ, pH 7,5–8,5 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 6,81–8,26 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов по сравнению с вышеописанными возрастают: Na/Si 20,99, и снижаются: Ca/Si 12,55; Mg/Si 7,21; Mg/Na 0,34; Si/Na 0,05; Ca/Na 0,59; Ca/Mg 1,69; rNa/rCl 3,84; SO_4/Cl 3,56. Воды *Колыванского* карьера Cl– $\text{HCO}_3\text{--SO}_4$ Na–Mg–Ca и $\text{SO}_4\text{--HCO}_3$ Mg–Ca состава с величиной общей минерализации 500–1171 мг/дм³ и содержанием кремния 3,80–5,25 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +190,7 – +199,6 мВ, pH 7,5–8,0 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ 7,65–10,43 мг/дм³. В отличие от вод *Горловского* карьера, здесь наблюдается рост отношений: Ca/Si 30,10; Si/Na 0,17; Ca/Na 4,93; Ca/Mg 3,21 и снижение: Mg/Si 10,17; Na/Si 6,46; Mg/Na 1,60; rNa/rCl 5,69; SO_4/Cl

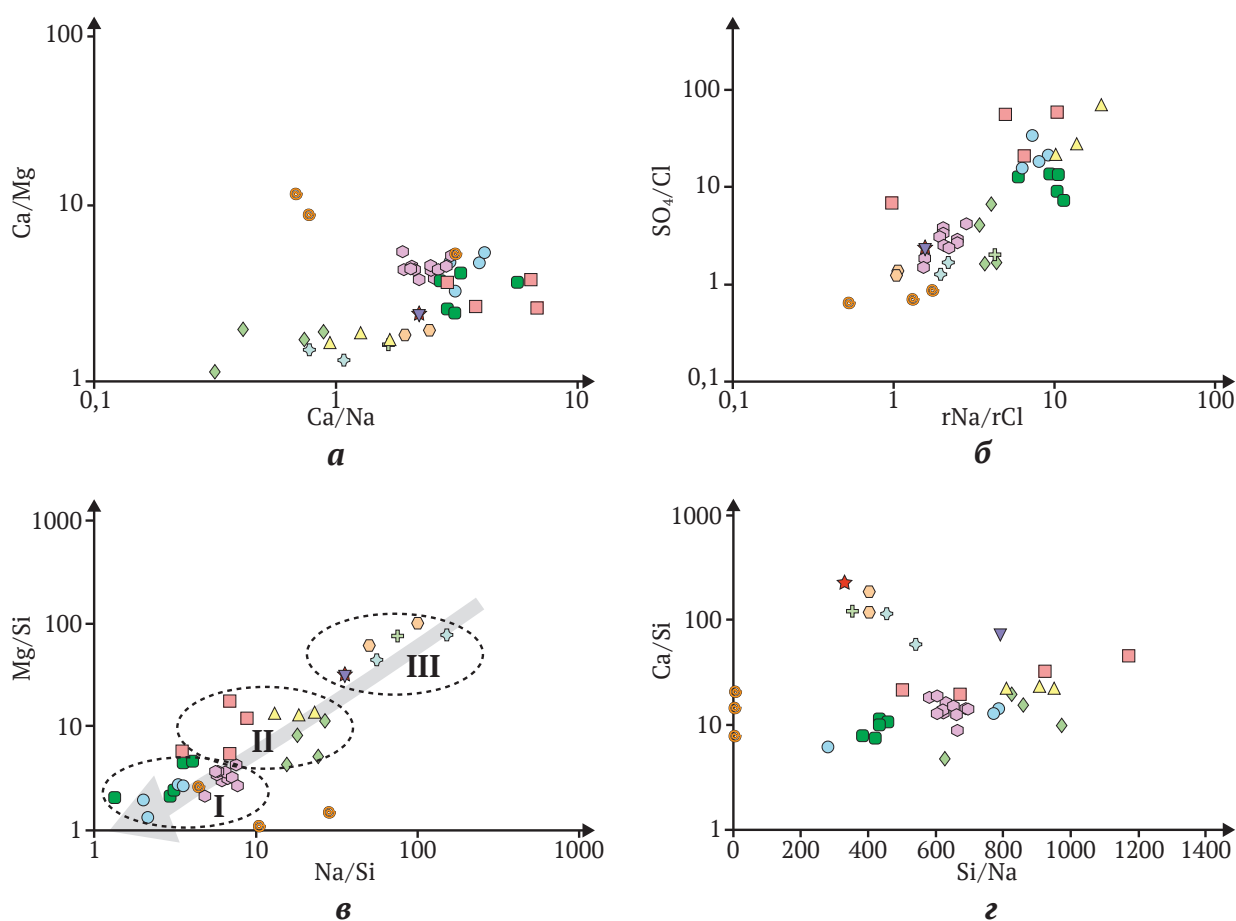


Рис. 5. Геохимическая типизация дренажных вод по коэффициентам Ca/Mg – Ca/Na (а), SO_4/Cl – rNa/rCl (б), Mg/Si – Na/Si (в), Ca/Si – Si/Na (г). Стрелкой показано увеличение концентраций кремния. Усл. обозн. см. рис. 4



36,28. Дренажные воды Горловского угольного бассейна отличаются высокими концентрациями сульфатов ($71\text{--}502\text{ мг/дм}^3$) и натрия ($13\text{--}158\text{ мг/дм}^3$), а также отношениями Na/Si , rNa/rCl , SO_4/Cl , что указывает на процессы окисления сульфидов.

Дренажные воды мраморного Абрашинского карьера характеризуются $\text{HCO}_3\text{--Na--Ca--Mg}$ составом с величиной общей минерализации $500\text{--}1171\text{ мг/дм}^3$ и содержанием кремния $3,80\text{--}5,25\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с $E_h +190,7\text{--}+199,6\text{ мВ}$, $\text{pH } 7,5\text{--}8,0$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $7,65\text{--}10,43\text{ мг/дм}^3$. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: $\text{Ca/Si } 123,50$; $\text{Mg/Si } 75,47$; $\text{Na/Si } 74,95$; $\text{Mg/Na } 1,01$; $\text{Si/Na } 0,01$; $\text{Ca/Na } 1,65$; $\text{Ca/Mg } 1,64$; $\text{rNa/rCl } 4,24$; $\text{SO}_4/\text{Cl } 2,03$. В водах Абрашинского карьера отмечается накопление в растворе кальция магния и натрия, что выражено в высоких отношениях Ca/Si , Mg/Si , Na/Si .

Воды песчаного Кировского карьера характеризуются $\text{Cl--SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Na--Mg--Ca}$ с величиной общей минерализации 789 мг/дм^3 и содержанием кремния $1,29\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с $E_h +205,0\text{ мВ}$, $\text{pH } 8,7$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $15,50\text{ мг/дм}^3$. Средние значения геохимических коэффициентов составляют $\text{Ca/Si } 77,52$; $\text{Mg/Si } 31,71$; $\text{Na/Si } 35,09$; $\text{Mg/Na } 0,90$; $\text{Si/Na } 0,03$; $\text{Ca/Na } 2,21$; $\text{Ca/Mg } 2,44$; $\text{rNa/rCl } 1,55$; $\text{SO}_4/\text{Cl } 2,38$. Воды Подгорного песчаного карьера отличаются $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Na--Mg--Ca}$ составом с величиной общей минерализации 330 мг/дм^3 и содержанием кремния $0,18\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвеча-

ют окислительной обстановке с $E_h +186,5\text{ мВ}$, $\text{pH } 8,4$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $9,34\text{ мг/дм}^3$. Средние величины геохимических коэффициентов увеличиваются у: $\text{Ca/Si } 229,91$; $\text{Mg/Si } 113,31$; $\text{Na/Si } 80,12$; $\text{Mg/Na } 1,41$; $\text{Ca/Na } 2,87$; $\text{rNa/rCl } 2,11$; $\text{SO}_4/\text{Cl } 5,51$ и снижаются у: $\text{Si/Na } 0,01$; $\text{Ca/Mg } 2,03$. По геохимическим коэффициентам можно сказать, что воды Подгорного карьера в большей степени обогащены кальцием, магнием и натрием.

Радионуклидная типизация

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых (рудных и нерудных) несет в себе существенную угрозу для окружающей среды. В первую очередь это относится к элементам первого класса опасности, к которым относятся: бериллий, мышьяк, ртуть и таллий¹. Влияние радионуклидов на экосистемы также крайне опасно, несмотря на то, что уран относится сейчас ко второму классу опасности (ПДК 15 мкг/дм^3). По торию согласно действующим нормативным документам России нет обоснования ПДК (предельно допустимых концентраций). Естественная радиоактивность природных вод различного изотопно-геохимического облика вызывает в мире неподдельный интерес. В этой связи в рамках настоящей работы впервые были выполнены исследования по

¹ ГОСТ Р 58573-2019 «Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль»; ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций».

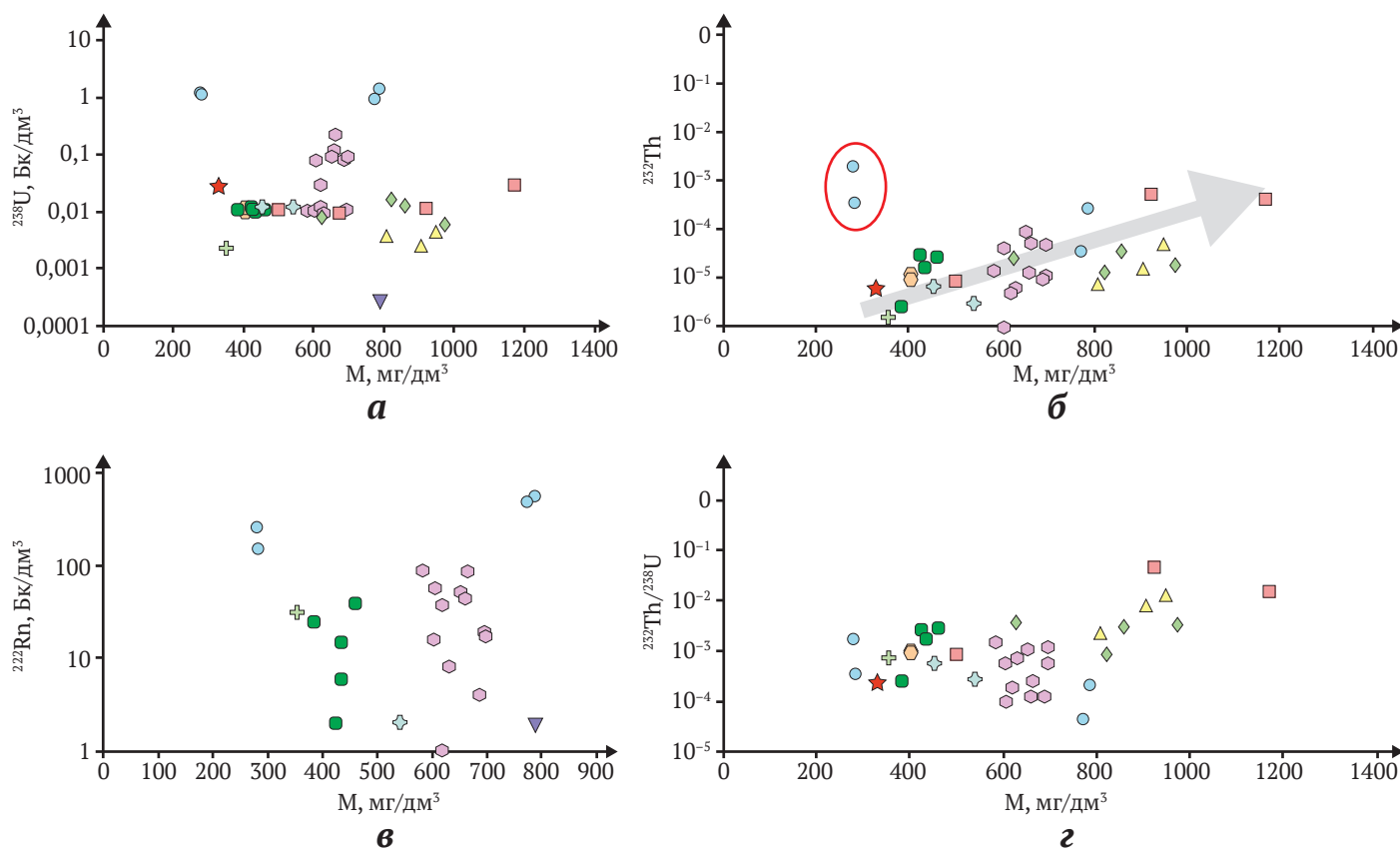


Рис. 6. Изменение радионуклидного состава от величины общей минерализации дренажных вод



оценке распределения в дренажных водах урана и тория, учитывая, что изучаемый район характеризуется повышенным естественным радиационным фоном за счет наличия рассеянных радиоактивных минералов в гранитах и гранодиоритах. Ниже рассмотрим особенности распределения урана, тория и радона в водах изученных объектов.

В настоящее время в водах карьера *Борок* природные радионуклиды содержатся в следующих пределах (мг/дм³): ^{238}U от 0,009 до 0,213 и ^{232}Th от $1,00 \cdot 10^{-6}$ до $9,62 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $9,71 \cdot 10^{-5}$ до $1,49 \cdot 10^{-3}$ (рис. 6). Активность ^{222}Rn варьирует в диапазоне от 1 до 89 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классу очень слаборадоновых (по классификации Н.И. Толстихина) [1]. В водах *Тулинского* карьера содержания природных радионуклидов меняются в диапазоне (мг/дм³): ^{238}U от 0,0121 до 0,0123 и ^{232}Th от $3,20 \cdot 10^{-6}$ до $7,08 \cdot 10^{-6}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $2,4 \cdot 10^{-4}$ до $5,77 \cdot 10^{-4}$ и активность ^{222}Rn не превышает 2 Бк/дм³. Содержания природных радионуклидов в водах *Горского* карьера варьируют (мг/дм³): ^{238}U от 0,010 до 0,012 и ^{232}Th от $1,00 \cdot 10^{-5}$ до $1,15 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $9,30 \cdot 10^{-4}$ до $1,02 \cdot 10^{-3}$.

В водах *Новобибеевского* карьера природные радионуклиды содержатся в следующих пределах (мг/дм³): ^{238}U от 0,010 до 0,012 и ^{232}Th от $2,60 \cdot 10^{-6}$ до $3,10 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $2,43 \cdot 10^{-4}$ до $2,69 \cdot 10^{-3}$. Активность ^{222}Rn варьирует в диапазоне от 2 до 39 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классу очень слаборадоновых. В водах *Скалинского* карьера природные радионуклиды содержатся в водах в следующих пределах (мг/дм³): ^{238}U от 0,940 до 1,400 и ^{232}Th от $3,93 \cdot 10^{-5}$ до $2,16 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $4,20 \cdot 10^{-5}$ до $1,78 \cdot 10^{-3}$. Активность ^{222}Rn варьирует в диапазоне от 154 до 573 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классам слаборадоновым и умеренно радоновым.

Содержания природных радионуклидов в водах *Горловского* карьера изменяются (мг/дм³): ^{238}U от 0,002 до 0,004 и ^{232}Th от $7,15 \cdot 10^{-6}$ до $4,68 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $2,10 \cdot 10^{-3}$ до $1,17 \cdot 10^{-2}$. А в водах *Ургунского* карьера концентрации радионуклидов составляют (мг/дм³): ^{238}U от 0,006 до 0,017 и ^{232}Th от $1,40 \cdot 10^{-5}$ до $3,78 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $8,37 \cdot 10^{-4}$ до $3,41 \cdot 10^{-3}$. В водах *Колыванского* карьера содержания ^{238}U изменяются от 0,009 до 0,029 и ^{232}Th от $9,32 \cdot 10^{-6}$ до $5,57 \cdot 10^{-4}$, а отношение $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ от $8,39 \cdot 10^{-4}$ до $4,80 \cdot 10^{-2}$.

В водах *Абрашинского* карьера концентрации радионуклидов не превышают (мг/дм³): ^{238}U 0,002 и ^{232}Th $1,65 \cdot 10^{-6}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах – $7,24 \cdot 10^{-4}$, активность ^{222}Rn составляет 31 Бк/дм³.

В водах *Кировского* карьера содержания тория составляют $3,00 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³, активность ^{222}Rn не превышает 2 Бк/дм³. Содержания природных радионуклидов в водах *Подгорного* карьера составляют (мг/дм³): ^{238}U 0,027 и ^{232}Th $6,47 \cdot 10^{-6}$, а $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение $2,36 \cdot 10^{-4}$.

В настоящей работе была проведена оценка влияния сброса дренажных вод разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых восточных

районов Новосибирской области на окружающую среду. Рассмотрим объемы радионуклидов, выносимых дренажными водами, на примере карьера *Борок*. По результатам автоматического учета средние объемы дренажных вод составляют – 2,3 млн м³ в год. Учитывая материалы геохимических исследований вод, средние концентрации урана составляют $6,58 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³ и тория – $2,67 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³. Таким образом, ежегодные объемы выносимого урана и тория равны 151,4 и 61,4 кг соответственно. При этом следует отметить, что загрязнение радиоактивными элементами реки *Иня*, куда идет сброс, не наблюдается. За счет процессов смешения речных вод с дренажными, концентрации (мг/дм³): ^{238}U варьируют от $2,32 \cdot 10^{-3}$ до $2,40 \cdot 10^{-3}$, а ^{232}Th от $3,08 \cdot 10^{-6}$ до $1,39 \cdot 10^{-5}$. Подобные оценки выполнены для рек *Ояш*, *Чаус* и *Елбаш*, в которые идет сброс дренажных вод из карьеров *Новобибеевский*, *Скалинский* и карьеров *Горловского* угольного бассейна соответственно. Так, в реке *Ояш* концентрации радионуклидов составляют (мг/дм³): *U* $2,36 \cdot 10^{-3}$; *Th* $5,85 \cdot 10^{-6}$, в реке *Чаус* *U* – $3,55 \cdot 10^{-3}$; *Th* $4,09 \cdot 10^{-6}$, а в реке *Елбаш* $2,46 \cdot 10^{-3}$ и $4,54 \cdot 10^{-6}$ соответственно. Выявленные концентрации радионуклидов в речных водах соотносятся с фоновыми значениями для поверхностных вод Новосибирской области.

Заключение

Полученные результаты кратко можно резюмировать следующим образом.

Геологические и гидрогеологические условия изученных вод контролируют геохимические параметры среды. Так, в водах гранитных и угольных карьеров встречаются воды с нейтральным показателем pH, а в песчаных и мраморных в основном с щелочным. Также можно заметить, что в угольных карьерах развиты более минерализованные воды с величиной общей минерализации до 1171 мг/дм³, что отвечает слабосоленоватым водам, тогда как остальные дренажные воды ультрапресные – собственно пресные. Этот факт является закономерным, поскольку *Горловский* угольный бассейн имеет осадочное выполнение и, как следствие, в нем развиты более древние и соленые воды, чего не наблюдается в гранитных массивах. По рассчитанным геохимическим коэффициентам (*Ca/Na*, *Ca/Mg*, *Ca/Si*, *Mg/Si*, *Na/Si*, *Si/Na*, *rNa/rCl* и *SO₄/Cl*) можно сказать, что в песчаных и мраморных карьерах в большей степени накапливаются натрий, кальций и магний, тогда как в гранитных и угольных – кремний. Рост натрия в растворе также связан с процессами антропогенного загрязнения. Наиболее высокие концентрации радионуклидов установлены в водах гранитных массивов, где содержания урана достигают 1,40 мг/дм³ и тория – $2,16 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³, что вполне логично, так как их породы аккумулируют в себе некогерентные элементы. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что разработка месторождений твердых полезных ископаемых не несет в себе опасности для окружающей среды. Сброс дренажных вод в речную систему восточных районов Новосибирской области не сказывается на качестве поверхностных вод.



Список литературы

1. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. *Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические)*. Л.: Недра; 1977. 240 с.
2. Вериго Е.К., Быкова В.В., Гусев В.К. Заельцовское месторождение радоновых вод (Новосибирское Приобье). В: *Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири*. 1979;(14):47–51.
3. Гусев В.К., Вериго Е.К. Радоновые воды Колывань-Томской складчатой зоны, их использование и охрана. В: *Изменение природных условий под влиянием деятельности человека*. Новосибирск; 1984. С. 99–107.
4. Chupakov A.V., Pokrovsky O.S., Moreva O.Y. et al. High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina. *Chemical Geology*. 2020;538:119491. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>
5. El-Mezayen A.M., Ibrahim E.M., El-Feky M.G. et al. Physico-chemical conditions controlling the radionuclides mobilisation in various granitic environments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(4):970–986. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1729758>
6. Zhao C., Zhang P., Li X. et al. Distribution characteristics and influencing factors of uranium isotopes in saline lake waters in the northeast of Qaidam basin. *Minerals*. 2020;10(1):74. <https://doi.org/10.3390/min10010074>
7. Yu C., Berger T., Drake H. et al. Geochemical controls on dispersion of U and Th in Quaternary deposits, stream water, and aquatic plants in an area with a granite pluton. *Science of the Total Environment*. 2019;663:16–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.293>
8. Faraj T., Ragab A., Alfay M.E. Geochemical and hydrogeological factors influencing high levels of radium contamination in groundwater in arid regions. *Environmental Research*. 2020;184:109303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109303>
9. Krall L., Auqué-Sanz L., Garcia-Orellana J. et al. Radium isotopes to trace uranium redox anomalies in anoxic Groundwater. *Chemical Geology*. 2019;531:119296. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119296>
10. Ogawa Y., Ishiyama D., Shikazono N. et al. Fractionation of rare earth elements (REEs) and actinides (U and Th) originating from acid thermal water during artificial and natural neutralization processes of surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2019;249:247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.01.030>
11. Ram R., Vaughan J., Etschmann B., Brugger J. The aqueous chemistry of polonium (Po) in environmental and anthropogenic processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;380:120725. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.002>
12. Восель Ю.С., Мельгунов М.С., Восель С.В. и др. Изотопно-геохимические свидетельства существования аутигенных фаз U(IV) в карбонатных осадках озер. В: *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V международной конференции*. 13–16 сентября 2016, Томск, Россия. С. 167–172.
13. Иванов А.Ю., Арбузов С.И. Геохимия урана и тория в донных отложениях малых искусственных водоемов и озер на территории юга Томской области. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019;330(4):136–146. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/233>
14. Зеленин В.И., Садуакасова А.Т., Самойлов В.И. и др. Способ извлечения урана из разбавленных растворов и природных вод. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(9):252–258.
15. Самойлов В.И., Садуакасова А.Т., Зеленин В.И., Куленова Н.А. Исследование процесса сорбции урана из озерной воды с использованием природных сорбентов и продуктов их модификации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(4):283–291.
16. Исупов В.П., Колпакова М.Н., Борзенко С.В. и др. Уран в минерализованных озерах Алтайского края. *Доклады академии наук*. 2016;470(5):566–569. <https://doi.org/10.7868/S086956521629020X>
17. Ташекова А.Ж., Лукашенко С.Н., Койгельдинова М.Т., Мухамедияров Н.Ж. Характеристика элементного состава воды р. Шаган. *Вестник КрасГАУ*. 2016;12:141–146.
18. Мазухина С.И., Пожиленко В.И., Маслобоев В.А. и др. Формирование химического состава подземных вод в южном Прихобье на примере водозабора «Предгорный». *Вестник МГТУ*. 2018;21(1):88–98. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-1-88-98>
19. Яковлев Е.Ю., Киселёв Г.П., Дружинин С.В., Зыков С.Б. Исследование фракционирования изотопов урана (^{234}U , ^{238}U) в процессе образования кристаллов льда. *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки»*. 2016;(3):15–23. <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.3.15>
20. Зыкова Е.Н. Создание основы для проведения мониторинговых исследований изотопов урана на оз. Кудьмозере. В: *Международная научно-практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность»*. Под ред. Л.И. Лукиной, Н.А. Бежина, Н.В. Ляминой. 24–27 сентября 2018, Архангельск, Россия. С. 474–476.
21. Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С. Четные изотопы урана в поверхностных водах группы малых озер северо-запада Архангельской области. *Успехи современного естествознания*. 2018;(4):114–120. URL: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2018/4/36734.pdf>
22. Чернышев И.В., Голубев В.Н., Чугаев А.В., Манджиева Г.В., Гареев Б.И. Поведение изотопов ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U в процессах выветривания вулканических пород с урановой минерализацией (на при-



мере месторождения Тулукуевское, Восточное Забайкалье). *Петрология*. 2019;27(4):446–467. <https://doi.org/10.31857/S0869-5903274446-467>

23. Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М. Урановая минерализация палеодолинных месторождений Витима. *Разведка и охрана недр*. 2018;(12):24–30.

24. Шкиль И.Э., Поршнева А.И., Малов А.И. Изменение гидрогеоэкологических условий при осушении карьеров южной группы трубок месторождения им. М.В. Ломоносова. *Проблемы недропользования*. 2016;(3):105–114. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.105>

25. Novikov D.A., Dultsev F.F., Kamenova-Totzeva R.M., Korneeva T.V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltssovsky-Mochishche zone of Novosibirsk, Russia. *Environmental Earth Sciences*. 2021;80:216. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09486-w>

26. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Вакуленко Л.Г. и др. Изотопно-геохимические особенности проявления слаборадоновых вод «Иньские источники» (юг Западной Сибири). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(3):135–145. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/03/3108>

27. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Максимова А.А. и др. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022;333(1):57–72. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/1/3447>

28. Novikov D.A., Dultsev F.F., Sukhorukova A.F. et al. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia. *Groundwater for Sustainable Development*. 2021;15:100674. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100674>

29. Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕ-ГЕИ; 2015. 392 с. URL: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/n-44-novosibirsk-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossiyskoy-federacii-t.pdf>

30. Небера Т.С. Типоморфизм породообразующих минералов как показатель эволюции расплава и физико-химических условий образования гранитоидов Колывань-Томской складчатой зоны. [Афтореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук]. Томск: Томский политехнический университет; 2010. 23 с.

References

1. Posokhov E.V., Tolstikhin N.I. *Mineral waters (medicinal, industrial, energy)*. Leningrad: Nedra Publ.; 1977. 240 p. (In Russ.)
2. Verigo E.K., Bykova V.V., Gusev V.K. Zaeltssovskoye radon water deposit (Novosibirskoye Priobye). In: *New data on geology and minerals of Western Siberia*. 1979;(14):47–51. (In Russ.)
3. Gusev V.K., Verigo E.K. Radon waters of the Kolyvan-Tomsk folded zone, their use and protection. In: *Changes in natural conditions due to human activity*. Novosibirsk; 1984. Pp. 99–107. (In Russ.)
4. Chupakov A.V., Pokrovsky O.S., Moreva O.Y. et al. High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina. *Chemical Geology*. 2020;538:119491. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>
5. El-Mezayen A.M., Ibrahim E.M., El-Feky M.G. et al. Physico-chemical conditions controlling the radionuclides mobilisation in various granitic environments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(4):970–986. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1729758>
6. Zhao C., Zhang P., Li X. et al. Distribution characteristics and influencing factors of uranium isotopes in saline lake waters in the northeast of Qaidam basin. *Minerals*. 2020;10(1):74. <https://doi.org/10.3390/min10010074>
7. Yu C., Berger T., Drake H. et al. Geochemical controls on dispersion of U and Th in Quaternary deposits, stream water, and aquatic plants in an area with a granite pluton. *Science of the Total Environment*. 2019;663:16–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.293>
8. Faraj T., Ragab A., Alfay M.E. Geochemical and hydrogeological factors influencing high levels of radium contamination in groundwater in arid regions. *Environmental Research*. 2020;184:109303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109303>
9. Krall L., Auqué-Sanz L., Garcia-Orellana J. et al. Radium isotopes to trace uranium redox anomalies in anoxic Groundwater. *Chemical Geology*. 2019;531:119296. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119296>
10. Ogawa Y., Ishiyama D., Shikazono N. et al. Fractionation of rare earth elements (REEs) and actinides (U and Th) originating from acid thermal water during artificial and natural neutralization processes of surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2019;249:247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.01.030>
11. Ram R., Vaughan J., Etschmann B., Brugger J. The aqueous chemistry of polonium (Po) in environmental and anthropogenic processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;380:120725. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.002>
12. Vosel Y.S., Melgunov M.S., Vosel S.V. et al. Isotopic-geochemical evidence of authigenic U(IV)-phases existence in carbonate lake sediments. In: *Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment. Materials of the V International Conference*. September 13–16, 2016, Tomsk, Russia. Pp. 167–172. (In Russ.)



13. Ivanov A. Y., Arbuzov S. I. Geochemistry of uranium and thorium in bottom sediments of small artificial water reservoirs and lakes in the south of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(4):136–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/233>
14. Zelenin V. I., Saduakasova A. T., Samoilov V. I. et al. Method for uranium extraction from diluted solutions and natural waters. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2016;(9):252–258. (In Russ.)
15. Samoylov V. I., Saduakasova A. T., Zelenin V. I., Kulenova N. A. The study of uranium sorption extraction from lake water by using natural sorptive mediums and products of their modification. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2016;(4):283–291. (In Russ.)
16. Isupov V. P., Kolpakova M. N., Borzenko S. V. et al. Uranium in brine lakes of the Altai Territory. *Proceedings of the Academy of Sciences*. 2016;470(5):566–569. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S086956521629020X> (In Russ.)
17. Tashekova A. Zh., Lukashenko S. N., Koygeldinova M. T., Mukhamediyarov N. Zh. Characteristic of element structure of water r. Shagan. *Bulletin of KrasGAU*. 2016;12:141–146. (In Russ.)
18. Mazukhina S. I., Pozhilenko V. I., Masloboev V. A. et al. The formation of the chemical composition of groundwater in south prohibiting using the example of “Predgornyy” water intake. *Bulletin of MSTU*. 2018;21(1):88–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-1-88-98>
19. Yakovlev E. Yu., Kiselev G. P., Druzhinin S. V., Zikov S. B. Uranium isotopic fractionation (^{234}U , ^{238}U) in the formation of ice crystals. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo Universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*. 2016;(3):15–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.3.15>
20. Zykova E. N. Establishment of the basis for conducting monitoring studies of uranium isotopes at the lake Kudmozero. In: Lukina L. I., Bezhina N. A., Lyamina N. V. (eds.) *International Scientific and Practical Conference “Environmental, Industrial and Energy Security”*. September 24–27, 2018, Arkhangelsk, Russia. P. 474–476. (In Russ.)
21. Zykova E. N., Zikov S. B., Yakovlev E. Yu., Larionov N. S. Evolutionary isotopes of uranium in surface waters of the group of small lakes of the northwest of the Arkhangelsk region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(4):114–120. (In Russ.) URL: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2018/4/36734.pdf>
22. Chernyshev I. V., Golubev V. N., Chugaev A. V. et al. Behavior of the ^{238}U , ^{235}U , and ^{234}U isotopes at weathering of volcanic rocks with u mineralization: a case study at the Tulukuevskoe deposit, Eastern Transbaikalia. *Petrology*. 2019;27(4):446–467. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5903274446-467>
23. Doynikova O. A., Tarasov N. N., Kartashov P. M. Uranium mineralization of Vitim paleovalleys deposits. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2018;(12):24–30. (In Russ.)
24. Shkil I. E., Porshnev A. I., Malov A. I. Hydro-geo-ecological conditions changing under pits drainage of the southern group of tubes in the M. V. Lomonosov deposit. *Problems of Subsoil Use*. 2016;(3):105–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.105>
25. Novikov D. A., Dultsev F. F., Kamenova-Totzeva R. M., Korneeva T. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky-Mochishche zone of Novosibirsk, Russia. *Environmental Earth Sciences*. 2021;80:216. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09486-w>
26. Novikov D. A., Kopylova Yu. G., Vakulenko L. G. et al. Isotope geochemical features of occurrence of low-radon waters “Inskie Springs” (South-Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. (In Russ.) 2021;332(3):135–145. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/03/3108>
27. Novikov D. A., Dultsev F. F., Maksimova A. A. et al. 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;333(1):57–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/1/3447>
28. Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F. et al. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia. *Groundwater for Sustainable Development*. 2021;15:100674. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100674>
29. Babin G. A., Chernykh A. I., Golovina A. G. et al. *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; 2015. 392 p. URL: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/n-44-novosibirsk-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossiyskoy-federacii-t.pdf>
30. Nebera T. S. *Typomorphism of rock-forming minerals as an indicator of the evolution of the melt and the physicochemical conditions of the Kolyvan-Tomsk folded zone granitoid formation*. [Abstract Dis. Cand. Geol.-Min. Sciences]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2010. 23 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Антон Сергеевич Деркачев – инженер лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; Scopus ID [57223290521](https://orcid.org/0000-0002-5722-3290); e-mail a.derkachev@ngs.nsu.ru

Анастасия Алексеевна Максимова – мл. научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новоси-



бирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-5068-555X](#), Scopus ID [57221031742](#); e-mail rock.nastaya64@gmail.com

Дмитрий Анатольевич Новиков – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-9016-3281](#), Scopus ID [35318389700](#), ResearcherID [N-9520-2015](#); e-mail NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Федор Федорович Дульцев – научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6848-5775](#), Scopus ID [57198442950](#), ResearcherID [T-9088-2018](#); e-mail DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Анна Федоровна Сухорукова – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Scopus ID [56524401600](#); e-mail SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Анатолий Витальевич Черных – научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-8680-420X](#), Scopus ID [7005156647](#); e-mail ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Альбина Анатольевна Хвощевская – кандидат геолого-минералогических наук, заведующая проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация; Scopus ID [55799519300](#); e-mail Garibova@yandex.ru

Information about the authors

Anton S. Derkachev – Engineer, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; Scopus ID [57223290521](#); e-mail a.derkachev@g.nsu.ru

Anastasia A. Maksimova – Junior Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-5068-555X](#), Scopus ID [57221031742](#); e-mail rock.nastaya64@gmail.com

Dmitry A. Novikov – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0001-9016-3281](#), Scopus ID [35318389700](#), ResearcherID [N-9520-2015](#); e-mail NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Fedor F. Dultsev – Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6848-5775](#), Scopus ID [57198442950](#), ResearcherID [T-9088-2018](#); e-mail DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Anna F. Sukhorukova – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Scopus ID [56524401600](#); e-mail SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Anatoliy V. Chernykh – Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0001-8680-420X](#), Scopus ID [7005156647](#); e-mail ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Albina A. Khvashchevskaya – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Head of the Problematic Research Laboratory of Hydrogeochemistry, School of Natural Resources Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation; Scopus ID [55799519300](#); e-mail Garibova@yandex.ru

Поступила в редакцию	25.03.2022	Received	25.03.2022
Поступила после рецензирования	20.07.2022	Revised	20.07.2022
Принята к публикации	01.09.2022	Accepted	01.09.2022