

А. С. Деркачев^{1,2}, Д. А. Новиков^{1,2}

Уран в природных водах Горловского угольного бассейна

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

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

Аннотация. На основе обобщения результатов полевых работ и фондовых материалов приводятся данные о гидрогеологическом строении Горловского угольного бассейна. В гидрогеологическом разрезе выделяется два водоносных горизонта: четвертичных отложений и зоны трещиноватости верхнепалеозойских пород. Обводненность обоих водоносных горизонтов низкая. Верхний водоносный горизонт характеризуется средними значениями пористости 35%. Средние удельные дебиты скважин варьируют от 0,007 до 0,5 л/с. Пористость палеозойских пород, в зависимости от месторождения (участка) изменяется от 2,8 % до 53 %. Средние значения по месторождениям составляют 9,1 – 38 %; по бассейну – 25 %. Удельные дебиты скважин водоносного горизонта палеозойских пород характеризуются достаточно низкими значениями – от тысячных долей до 0,2 л/с. Природные воды Горловского угольного бассейна характеризуются величиной общей минерализации от 131 до 1289 мг/дм³ и являются пресными и редко солоноватыми. Они имеют преимущественно гидрокарбонатный кальциевый состав. Геохимические параметры среды характеризуются в основном окислительными обстановками с концентрацией O₂ раств. от 3,2 до 10,4 мг/дм³, при среднем значении 7,7 мг/дм³. Окислительно восстановительный потенциал (Eh) изменяется от – 116,2 до +199,6 мВ; рН варьирует в диапазоне от 6,2 до 8,7, при доминировании нейтральных. Уран в этих условиях обладает высокой миграционной способностью, достигая местами концентрации 0,25 мг/дм³ при фоновом значении 3,1·10⁻³ мг/дм³. В целом, уран содержится в природных водах в широком диапазоне от 2,68·10⁻⁵ до 0,25 мг/дм³, при среднем 0,014 мг/дм³.

Ключевые слова: гидрогеологические условия, гидрогеохимия, уран, Горловский угольный бассейн, Обь-Зайсанская складчатая область

A. S. Derkachev^{1,2}, D. A. Novikov^{1,2}

Uranium in natural waters of Gorlovsky coal basin

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

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

Abstract. Based on the generalization of the results of field work and resources data on the hydrogeological structure of the Gorlovsky coal mine is given. In the hydrogeological section, there are two sections of aquifers: Quaternary deposits and a zone of fracturing of Upper Paleozoic rocks. Water cut of both aquifers is low. The upper aquifer spread porosity values of 35%. Average valley well flow rates vary from 0.007 to 0.5 l/s. The porosity of the Paleozoic rocks, depending on the site, fluctuates from 2.8% to 53%. The average values in terms of rarity are 9.1 - 38%; 25% for the whole basin. The specific flow rates of wells in the aquifer of Paleozoic rocks are characterized by rather low values - from thousandths to 0.2 l/s. The natural waters of the Gorlovsky coal compound are

characterized by the value of TDS from 131 to 1289 mg/dm³ and are fresh and rarely brackish. They have a high composition of HCO₃ Ca. The geochemical parameters of the environment are characterized by predominantly oxidative conditions with an increase in O₂ diss. from 3.2 to 10.4 mg/dm³, with an average value of 7.7 mg/dm³. The redox potential (Eh) decreases from -116.2 to +199.6 mV; pH varies in the range from 6.2 to 8.7, with the dominance of neutral. Uranium under these conditions has a high migration ability, reaching concentrations of 0.25 mg/dm³ with a mean of 3.1·10⁻³ mg/dm³. In general, uranium is found in natural waters in residues from 2.68·10⁻⁵ to 0.25 mg/dm³, on average 0.014 mg/dm³.

Keywords: Gorlovsky coal basin, hydrogeology, hydrogeochemistry, uranium, Gorlovsky coal basin

Введение

Горловский угольный бассейн, в административном отношении расположен на юге Искитимского района Новосибирской области (рис. 1). В состав бассейна входят месторождения Листвянское, Ургунское, Горловское I и Колыванское, разрабатываемые соответственно с 1931, 1976, 1980 и 1994 годов [1]. На 2023 год разработкой месторождений занимается группа компаний «Сибантрацит».

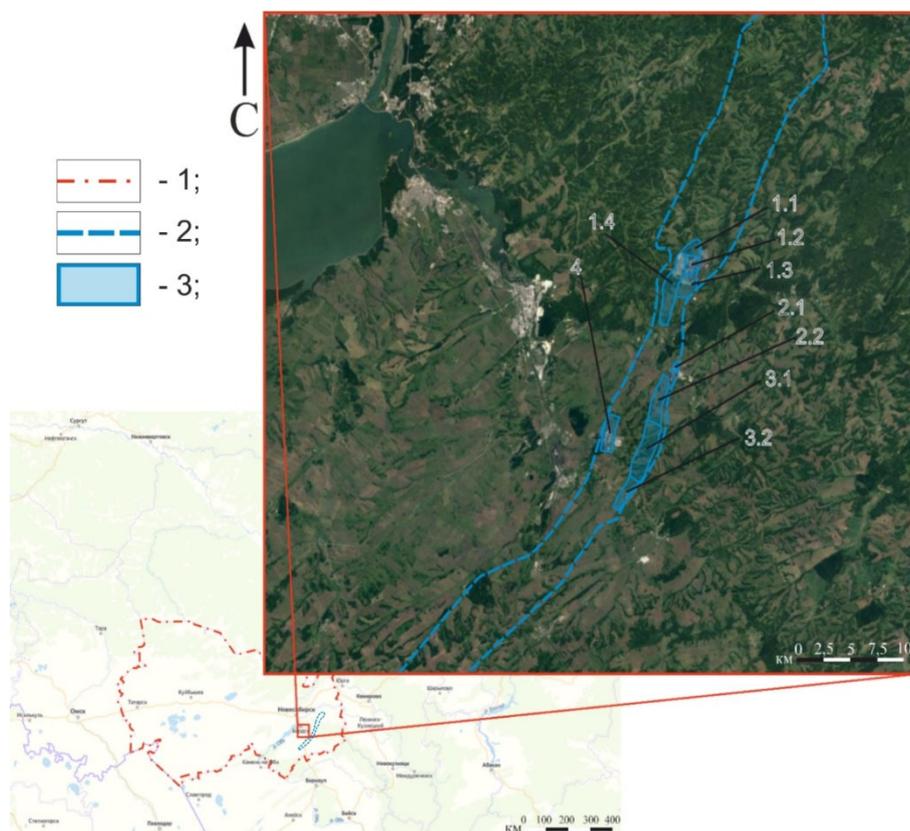


Рис. 1. Географическое положение Горловского угольного бассейна
 Условные обозначения: 1 – граница Новосибирской области; 2 – граница Горловского угольного бассейна; 3 – границы участков: Колыванское месторождение: 1.1 – Северный участок, 1.2 – Крутихинский участок, 1.3 – Восточный участок, 1.4 – Западный участок; Горловское I месторождение: 2.1 - карьерное поле, 2.2 – Беловский участок; Листвянское месторождение: 3.1 – шахты, 3.2 – Шипельский участок; 4 - Ургунское месторождение.

Природные угли являются хорошими сорбентами, хорошо известны угольные месторождения с высокими содержаниями РЗЭ и радиоактивных элементов [2]. Нахождение урана в природных водах контролируется такими факторами как: 1) содержанием элемента во вмещающей породе, 2) климатическими условиями и сезонными колебаниями, 3) гидрогеохимическими параметрами: значениями рН, окислительно-восстановительного потенциала, концентрацией компонентов для формирования комплексных соединений с ураном (карбонаты, фосфаты, фториды, сульфаты, силикаты, органическое вещество, (гидро)оксиды и др.) [3].

Исследования, касающиеся распределения урана в углях, проводятся с первой половины XX в, когда обогащенные ураном угли рассматривались как его возможный источник [4]. Исследования последующего этапа касались экологических аспектов использования ураноносных углей в энергетике. Было установлено, что при использовании ураносодержащих углей в качестве топлива особенности поведения урана определяются как технологиями сжигания, так и формами его нахождения в углях [5]. Согласно обобщающей работе [6], основанной на анализе мировой литературы по данной теме, при концентрациях урана в углях близким к кларковым характерны минеральные формы его нахождения, в то время как в углях с повышенными его концентрациями преобладает органическая форма. На сегодняшний день открытым остается вопрос о фракционировании урана в зависимости от его концентрации и типа угля, а также вопросы его поведения при диагенезе и метаморфизме [2].

В этой связи основной целью настоящего исследования было выявление особенностей распределения урана в природных водах Горловского угольного бассейна.

Методы и материалы

Настоящая работа основана на анализе фондовых материалов [1,7], результатов полевых и последующих химико-аналитических исследований и всего насчитывает 269 проб [8]. Экспедиционные работы проводились в августе 2019 года (рис. 2.б-г). В ходе них были выполнены следующий объем работ: отобраны 15 проб воды из различных объектов, произведены первичные замеры быстроизменяющихся параметров (рН, содержание растворенного кислорода в воде, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, содержание радона; рис. 2.а), а также выполнена подготовка данных проб к анализам в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ. Изучение химического состава природных вод выполнено в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета, аккредитованной в национальной системе аккредитации «Росаккредитация», методами титриметрии, спектрофотометрии, потенциометрии, пламенно-эмиссионной спектрометрии, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Анализ проводился по аттестованным методикам, включенным в реестр нормативных документов РФ.



Рис. 2. Фотографии, сделанные в ходе полевого сезона 2019 г: (А) – оборудование, необходимое для измерения быстроизменяющихся параметров; (Б) – зумпф на дне Горловского карьера (проба № У-9); (В) – разгрузка подземных вод из борта Ургунского карьера (проба № У-5); (Г) – река Елбаш (проба № У-15).

Результаты и обсуждение

Гидрогеологические условия

Горловский угольный бассейн характеризуется простым гидрогеологическим строением. В разрезе выделяются два водоносных горизонта (сверху вниз): 1) четвертичных отложений и 2) зоны трещиноватости верхнепалеозойских пород. *Грунтовые воды четвертичных отложений* на территории исследований распространены повсеместно и представлены подгоризонтами: а) подземные воды аллювиальных отложений и б) подземные воды ниже-среднечетвертичных субэральных отложений. Подземные воды первого подгоризонта приурочены к современным аллювиальным отложениям долин рек Малый Елбаш, Елбаш, Бердь и Крутиха. Для нижней части характерны гравийно-галечниковые или галечные осадки с разнозернистыми и мелкозернистыми песками; для верхней – суглинки и супеси. Мощность данных толщ варьирует от единиц до первых десятков метров. Подземные воды второго подгоризонта приурочены к отложениям красnodубровской свиты или ее фациальных аналогов – бачатской и кедровской свит. Распространение их почти повсеместное. Отложения вышеперечисленных свит представлены суглинками, глинами и супесями, местами с про-

слоями песков. Водоупором данные отложения не являются в виду своего спорадического распространения по латерали.

Для водоносного горизонта четвертичных отложений характерна низкая водообильность. Удельные дебиты по скважине 2490 составили 0,0011 л/с, коэффициент фильтрации – 0,02 м/сут. Данные значения отвечают средним по всем рассматриваемым месторождениям Горловского бассейна. Средние значения пористости составляют 35 %. Средние удельные дебиты скважин для субаэральных отложений составляют 0,007 л/с (например, 0,005 л/с для скважины №20), для аллювиальных – 0,5 л/с (при откачках из ствола шахты №2^{бис}) [7].

Водоносный горизонт зоны трещиноватости верхнепалеозойских пород отделен от вышележащего горизонта водоупором мел-палеогеновой химической корой выветривания, которая проявлена локально – одни месторождения демонстрируют её повсеместное распространение, с мощностью от 20 до 75 м (Листвянское и другие), в то время как на других – полное или частичное отсутствие таковой (Горловское, Крутихинское и другие). Породы коры выветривания представляют собой каолинизированные песчаники, аргиллиты и алевролиты. Данная водоносная зона представляет собой единый водоносный комплекс, распространенный по всей площади Горловского угольного бассейна. Кровля представлена как четвертичными глинами, суглинками, песчаниками и алевролитами, так и каолинизированными породами химической коры выветривания. Непосредственно угленосная толща представлена песчаниками средне- и мелкозернистыми, алевролитами, аргиллитами, углистыми аргиллитами и пластами угля. Вскрытая мощность пород достигает 400-500 м. Обводненность пород разнится даже в пределах одного месторождения ввиду различной водопроницаемости. Пористость пород, в зависимости от месторождения варьирует от 2,8 до 53 %. Средние значения по бассейну составляют 25 %. Для массива скальных пород характерны значения удельной трещиноватости от 0,65-1 дм/дм³ до 10 дм/дм³ и более [1].

Гидрогеохимические особенности

Природные воды Горловского угольного бассейна характеризуются величиной общей минерализации от 131 до 1288,9 мг/дм³ при среднем значении около 744 мг/дм³: относятся к пресным и ультрапресным. Доминируют воды гидрокарбонатного кальциевого состава. Концентрация растворенного кислорода, в среднем, составляет 8,6 мг/дм³. Окислительно восстановительный потенциал (Eh) изменяется от – 116,2 до +199,6 мВ; рН варьирует в диапазоне от 6,2 до 8,7, при доминировании нейтральных. Содержание основных катионов, анионов и кремния закономерно увеличивается с ростом величины общей минерализации, и особенно четко это проявлено для Колыванского месторождения антрацита. В распределении микрокомпонентов наибольшие концентрации характерны для кремния, железа, стронция, алюминия и марганца. Коэффициенты водной миграции, рассчитанные по А.И. Перельману [9], относительно кларка земной коры снижаются в ряду: очень сильная интенсивность миграции I_{509,3} > Br₁₉₄ > Rh₁₇₀ > Se_{98,6} > Sr_{39,3} > Mo_{24,7} > V_{20,2} > Li_{12,1} > U_{10,6} > сильная As_{9,3} > Sb_{8,1} > Ni_{1,5} > Cd_{1,3} > Mn_{1,1} > Ba₁ > Co₁ > средняя Zn_{0,8} > Cu_{0,5} > Be_{0,4} > P_{0,3} > Sc_{0,29} > Si_{0,15} > Y_{0,14} > Pb_{0,14} >

$Rb_{0,14} > Cr_{0,13} > Ge_{0,13} > Fe_{0,11} >$ слабая $Th_{0,06} > V_{0,05} > Ga_{0,015} > Al_{0,01} >$ очень слабая (инертная) интенсивность миграции $Zr_{0,006} > Ti_{0,003}$. В сравнении с классической схемой А.И. Перельмана, для данных вод были установлены следующие особенности: рений, уран, литий молибден и стронций перешли в класс элементов, обладающих очень сильной миграционной способностью, многие элементы, которые эталонно находятся в группах средней и слабой миграции перешли в группу сильной и средней миграции соответственно.

В водах отмечается повышенная концентрация урана, и в некоторых пробах его содержание превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [10]. Уран обладает очень высокой миграционной способностью, достигая местами концентрации $0,25 \text{ мг/дм}^3$, при фоновом значении $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$. В целом, уран содержится в водах Горловского угольного бассейна в широком интервале содержаний от $2,68 \cdot 10^{-5}$ до $0,25 \text{ мг/дм}^3$, при среднем $0,014 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 3).

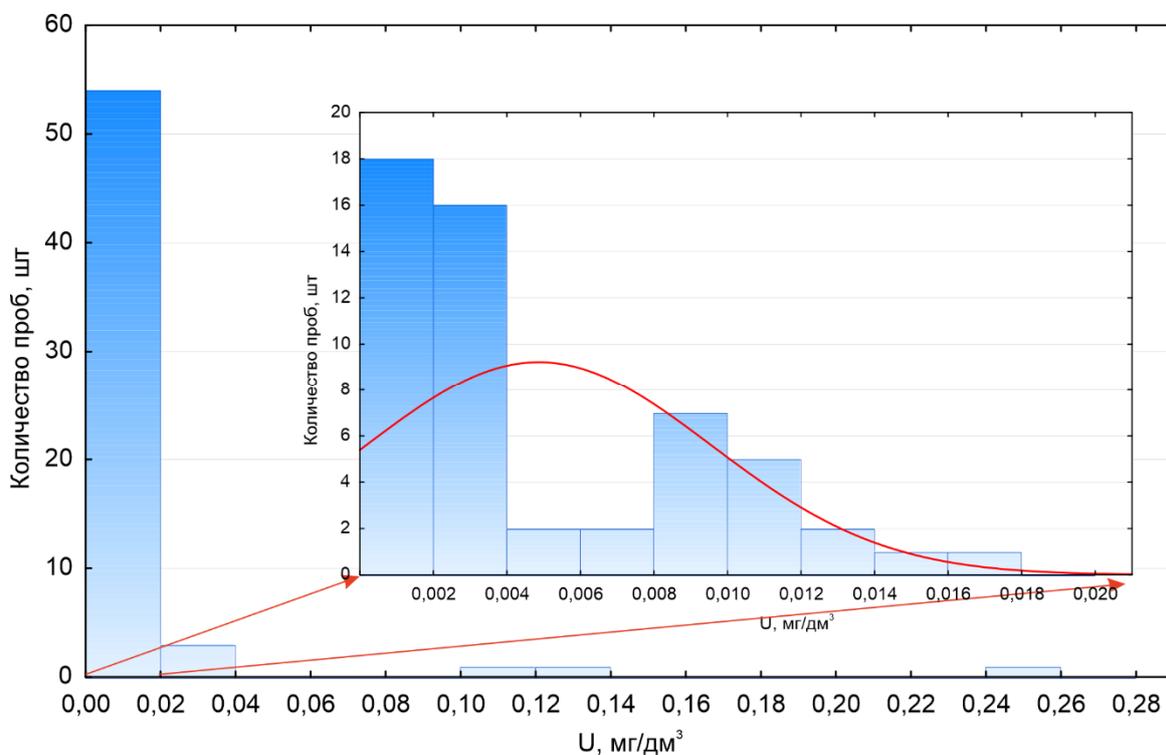


Рис. 3. Гистограммы распределения концентраций урана в природных водах Горловского угольного бассейна.

Для сравнения, в подземных водах Обь-Зайсанской складчатой области его концентрации могут достигать $6,5 \text{ мг/дм}^3$ [11]. Среди наиболее изученной группы подземных радоновых вод его содержания достигают: $0,017 \text{ мг/дм}^3$ в водах Тулинского месторождения [12], $0,098 \text{ мг/дм}^3$ – Заельцовского [13]; $0,04 \text{ мг/дм}^3$ – Новобибеевского проявления [14] и $4,13 \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$ в водах проявления Инские источники [15], а также $6,39 \cdot 10^{-4} \text{ мг/дм}^3$ в водах проявления Седова Заимка [16] и $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$ в водах Каменского месторождения [17].

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что высокие концентрации урана ($^{238}\text{U}_{\text{сред.}} = 0,014 \text{ мг/дм}^3$) в водах Горловского угольного бассейна обусловлены высокими: сорбирующей способностью углей и миграционной способностью урана в окислительной геохимической обстановке (среднее значение Eh 144.2 мВ, $\text{O}_2_{\text{раств.}} = 7,7 \text{ мг/дм}^3$). Предложенная гипотеза требует дополнительных исследований горных пород. Повышенная ураноносность подземных вод не сопровождается ростом активности радона в водах ($^{222}\text{Rn}_{\text{сред.}} = 29 \text{ Бк/дм}^3$), что также требует дополнительных исследований. Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что радиоактивность подземных вод Горловского угольного бассейна определяется ураном, при этом роль тория в этом явлении требует дополнительных экспедиционных и химико-аналитических работ.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта № 22-17-20029 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оридорога В.В. Отчет по геологоразведочным работам на участке «Крутихинский» Колыванского месторождения антрацитов (разведка участка первоочередного освоения) (Результаты геологоразведочных работ и подсчет запасов антрацита по состоянию на 1.01.2009 г.). Книга. Текст и текстовые приложения. / Оридорога В.В., Уварова Н.М. и др.. – Елань, 2009. – 269 с.
2. Арбузов С.И., Ильенок С.С., Волостнов А.В., Маслов С.Г., Архипов В.С. – Формы нахождения урана в углях и торфах Северной Азии // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 109-115.
3. Langmuir, D. (1978). Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – V 42. – P. 547–569. doi:10.1016/0016-7037(78)90001-7.
4. Breger J.A., Ducloux M., Rubinsteyn S. Geochemistry and mineralogy of a uraniferous lignite // *Economic Geology*. – 1955. – V. 50. - № 2. – P. 206-226.
5. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов-н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 422 с.
7. Моисеева З.К. Отчет о результатах детальной разведки Беловского участка Горловского I месторождения антрацита в Горловском бассейне., г. Новосибирск, ГП "Новосибирская геологопоисковая экспедиция (ГП "НГПЭ"). 1996. – Кн.1. – 378 с.
8. Новиков Д.А., Юрчик И.И., Ватолина И.В., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В., Пыряев А.Н. Гидрогеология и гидрогеохимия Горловского угольного бассейна. – Свидетельство о регистрации базы данных 2022621006, 05.05.2022. Заявка № 2022620722 от 12.04.2022.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Изд. 2-е. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
10. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
11. Novikov D, Dultsev F.F., Sukhorukova A.F., Maksimova A.A., Chernykh A.V., Derkachyov A.S. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2021. – V. 15. – P. 1-8.
12. 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. – V. 20. – Article 100886.

13. Novikov D.A., Dultsev F.F., Kamenova-Totzeva R., Korneeva T.V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky–Mochishche zone of Novosibirsk, Russia // *Environmental Earth Sciences*. – 2021. – V. 80. – № 6. – Article 216.

14. 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.

15. 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.

16. Новиков Д.А., Пыряев А.Н., Максимова А.А., Сухорукова А.Ф., Дульцев Ф.Ф., Деркачев А.С., Черных А.В., Хващевская А.А. Об открытии слаборадоновых вод – Седова заимка // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 12. – С. 61–73.

17. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф., Корнеева Т. В, Каменова-Тотцева Р. 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.

© А. С. Деркачев, Д. А. Новиков, 2023