

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НОВОБИБЕЕВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ РАДОНОВЫХ ВОД (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Федор Федорович Дульцев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, научный сотрудник, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Дмитрий Анатольевич Новиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, к.г.-м.н., зав. лабораторией, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии

Алексей Николаевич Фаге

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, научный сотрудник, e-mail: FaguetAN@ipgg.sbras.ru

Антон Сергеевич Деркачев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, инженер, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

Анастасия Алексеевна Максимова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, инженер, e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

Анатолий Витальевич Черных

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, научный сотрудник, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

В работе представлены первые результаты комплексных геофизических и гидрогеохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод. Изучаемый объект находится в приконтактной зоне верхнепалеозойских гранитоидов и нижнекаменноугольно-верхнедевонских пород. Воды преимущественно HCO_3 Mg-Ca с величиной общей минерализации 496 – 877 мг/дм³ и содержанием кремния 5,8 – 13,3 мг/дм³. Характеризуются большой вариацией параметров геохимической среды (рН 6,6 – 7,5, Eh -81,2 – +212,7 мВ; $\text{O}_{2\text{раств}}$ 1,6 – 7,9 мг/дм³). Радионуклиды в водах имеют природное происхождение, концентрации которых составляют (мг/дм³): ^{238}U от $5,25 \cdot 10^{-4}$ до 0,13 и ^{232}Th от $1,86 \cdot 10^{-7}$ до $2,43 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение варьирует в интервале от $2,63 \cdot 10^{-5}$ до $2,92 \cdot 10^{-2}$, при среднем $4,24 \cdot 10^{-3}$. Активность ^{222}Rn в скважинах варьирует от 4,0 до 167,5 Бк/дм³. Изученные воды подвержены процессам антропогенного загрязнения.

Ключевые слова: радионуклиды, гранитный массив, качество подземных вод, проявление радоновых вод, Новобибеево, Западная Сибирь

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE NOVOBIBEEVO OCCURRENCE OF RADON WATERS (THE NOVOSIBIRSK REGION)

Fedor F. Dultsev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Dmitry A. Novikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., PhD, head of the laboratory, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., associate professor

Aleksej N. Fage

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: FaguetAN@ipgg.sbras.ru

Anastasia A. Maksimova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., engineer, e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

Anton S. Derkachov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., engineer, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

Anatoliy V. Chernykh

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

The first results of integrated geophysical and hydrogeochemical studies of the Novobibeevo occurrence of radon waters are presented for the first time. The object under investigation is situated at the contact zone of Upper Paleozoic granitoids and Lower Carboniferous - Upper Devonian rocks. Water composition is mainly HCO_3 Mg-Ca with TDS 496 – 877 mg/dm^3 and silicon content 5,8 – 13,3 mg/dm^3 . Substantial variations were detected in the parameters of the geochemical medium (pH 6.6 – 7.5, Eh -81.2 – +212.7 mV; $\text{O}_{2\text{dissolved}}$ 1.6 – 7.9 mg/dm^3). Radionuclides in the waters are of natural origin; their concentrations are (mg/dm^3): ^{238}U from $5.25 \cdot 10^{-4}$ to 0.13 and ^{232}Th from $1.86 \cdot 10^{-7}$ to $2.43 \cdot 10^{-5}$. The $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratio varies within the range $2.63 \cdot 10^{-5}$ to $2.92 \cdot 10^{-2}$, with the average value equal to $4.24 \cdot 10^{-3}$. The activity of ^{222}Rn in the wells varies from 4.0 to 167.5 Bq/dm^3 . The studied waters are prone to anthropogenic pollution.

Keywords: radionuclides, granite massif, groundwater quality, radon water occurrence, Novobibeevo, West Siberia

В окрестностях Новосибирской городской агломерации (НГА) широким распространением пользуются радоновые воды. Распределение ^{222}Rn обусловлено наличием рассеянных радиоактивных минералов в гранитоидных массивах, расположенных на изучаемой территории. В 1980 – 90-е годы было открыто более десяти месторождений радоновых вод (Заельцовское, Южно-Колыванское, Каменское и др.). Как показали результаты геологоразведочных работ содержание радона в подземных водах НГА варьирует от 0,1 до 43764,6 $\text{Бк}/\text{дм}^3$.

Выявленные месторождения к настоящему времени практически не описаны в научной литературе [1-5]. Актуальные сведения приводятся в работах [6-13].

Во время полевых работ 2019 года в скважинах нецентрализованного водоснабжения Новобибеевского сельского поселения были впервые выявлены повышенные концентрации радона до 167,5 Бк/дм³, подтвержденные повторно исследованиями 2020 года. Всего отобрано 17 проб из скважин, расположенных непосредственно в селе, 5 проб из объектов разрабатываемого карьера бутового камня «Новобибеевский» и 2 пробы из реки Ояш (рис. 1а). Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ. Название химического типа воды дано в соответствии с формулой М.Г. Курлова (от 10 %-экв) по оттеночному принципу от меньшего к большему. Кроме того, на территории поселка проводились геофизические исследования методом электротомографии в 2011 (для решения задачи поиска оптимального места для бурения водозаборной скважины централизованного водоснабжения) и 2020 (в рамках работы по гранту РФФИ) годах. Исследования производились с применением электроразведочной аппаратуры Скала-48 с 48 электродами и шагом между ними 5 м, по электроразведочной схеме Шлюмберже.

Село Новобибеево находится на территории Болотнинского района Новосибирской области на правом берегу р. Обь. Непосредственно по территории Новобибеево протекает р. Ояш, впадающая в р. Обь в 3,5 км северо-западнее села. В геоморфологическом отношении окрестности села представлены структурами, приуроченными к хорошо проработанным долинам р. Ояш, имеют плоский тальвег, покрытый пойменным аллювием. Глубина вреза долины по отношению к водоразделам составляет 50-100 м.

Согласно пояснительной записке к листу N44-VI [14] в геологическом строении территории с. Новобибеево кроме верхнепалеозойских гранитоидов принимают участие отложения нижнего карбона и верхнего девона, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, а также образования коры выветривания.

В гидрогеологическом разрезе установлены безнапорные воды палеозойского фундамента, представленного гранитоидами Обского массива, в состав которых входят серые и розовато-серые порфировидные граниты верхнепалеозойского возраста средне-мелкозернистые, реже гранодиориты и прорывающие их дайки долеритов. Интрузивные породы разбиты сетью трещин, образующих единую обводненную зону трещинных вод, водообильность которой крайне мала: дебиты скважин колеблются от 0,15 л/с до 0,26 л/с при понижении уровня от 18 до 33 м. При проведении откачек максимальное понижение уровня в скважинах достигалось практически сразу, на его полное восстановление уходило около двух суток. Вскрытая мощность обводненных гранитоидов достигает 120 м. Они перекрываются водоносным комплексом рыхлых осадков четвертичного возраста мощностью до 15 метров, представленных аллювиальными отложениями р. Ояш, включая русловые, пойменные, первой и второй надпойменных террас, и субэральные ниже-среднеплейстоценовые отложения краснодубровской свиты. Кора выветривания гранитоидов на исследуемой территории сохранилась

лишь в виде отдельных, небольших по площади участков, что объясняет гидравлическую взаимосвязь между водоносными горизонтами по всей площади их распространения. Питание водоносных горизонтов атмосферное. Абсолютные отметки зеркала подземных вод уменьшаются от 196,3 до 187,4 м в направлении русла р. Ояш, урез которой находится на уровне 186,94 м.

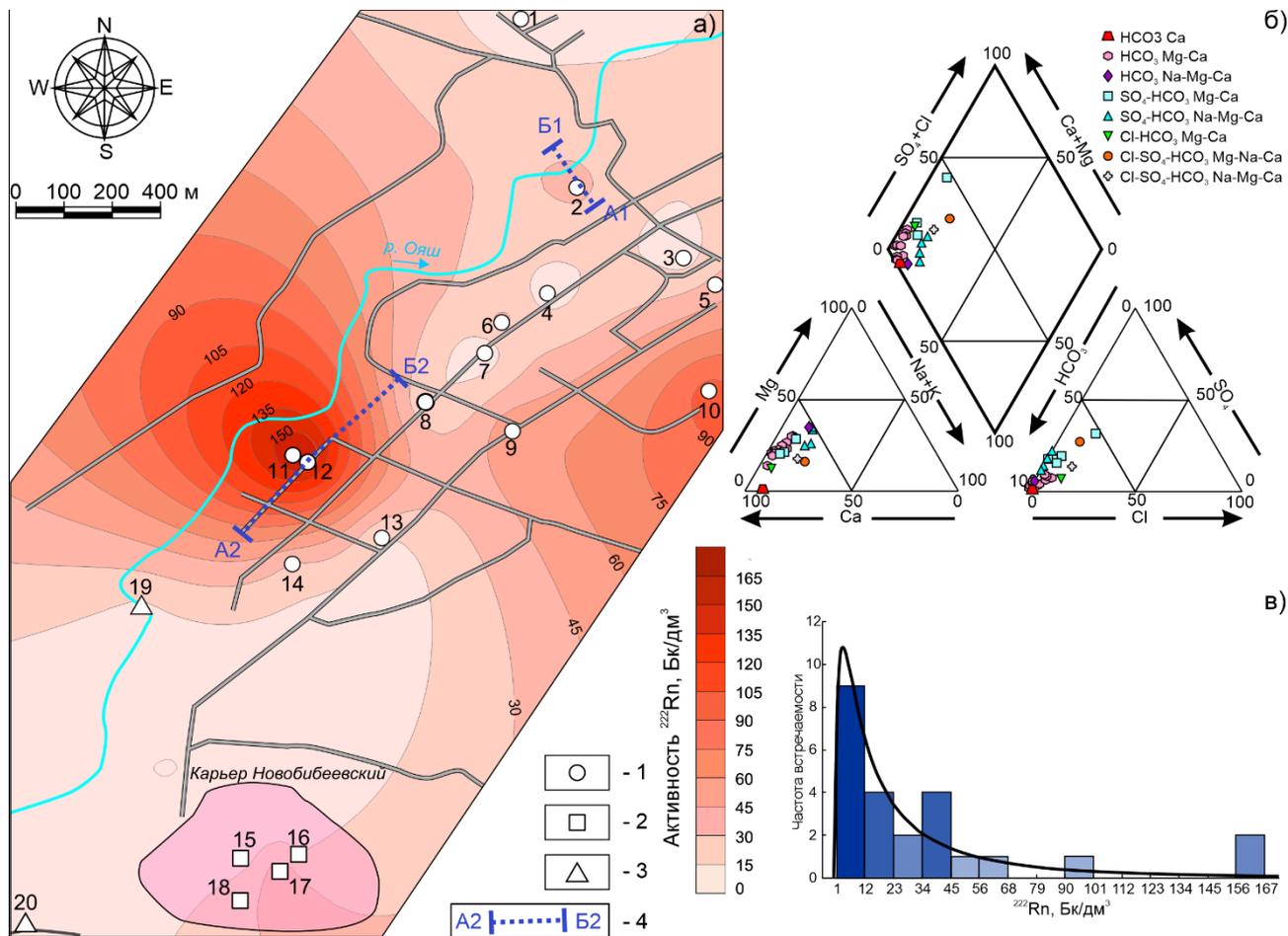


Рис. 1. Местоположение изученных объектов (а), 1 – скважины; 2 – карьерные воды; 3 – река Ояш. Диаграмма Пайпера состава изученных вод (б). Распределение радона в изученных водах (в).

Особенности гидрогеологического строения изучаемой территории хорошо видны на геоэлектрических разрезах по профилям А1-Б1 и А2-Б2 (рис. 2). Согласно первому разрезу, мощность рыхлых отложений увеличивается в направлении русла р. Ояш от менее чем 5 м в интервале 0 – 70 м по профилю исследования до 5 – 7 м в интервале 70 – 120 м. Ниже, согласно данным инверсии, залегают высокоомные (1000-2000 Ом·м) толщи - верхнепалеозойские гранитоиды [15]. Мощность этой зоны составляет 10-15 м. Высокие значения УЭС, вероятнее всего, говорят о весьма низкой трещиноватости и обводненности пород. Интервал глубин 15 – 70 м характеризуется относительно низкими значениями УЭС (20 – 100 Ом·м). Объяснение этому может быть только одно – наличие обводненной зоны трещиноватости в гранитоидах. Таким образом, можно судить о

глубине залегания и мощности зоны трещиноватости: кровля залегает на глубине 15 м, подошва – глубже 45 м.

Геоэлектрический разрез, построенный по данным исследования 2020 г. существенно отличается от разреза по данным 2011 г. – он в целом значительно более высокоомный, с отдельными относительно проводящими зонами. Участки повышенной трещиноватости в верхней и средней частях разреза характеризуются значениями УЭС от 40 до 100 Ом·м. Нижняя часть является высокоомной (значения УЭС от 300 Ом·м), что говорит о прочности пород и отсутствии в них свободной воды на глубинах более 30 м. Кроме того, в верхней части разреза хорошо прослеживаются водообильные зоны интервалах 40 – 110 м и 500 – 520 м по профилю.

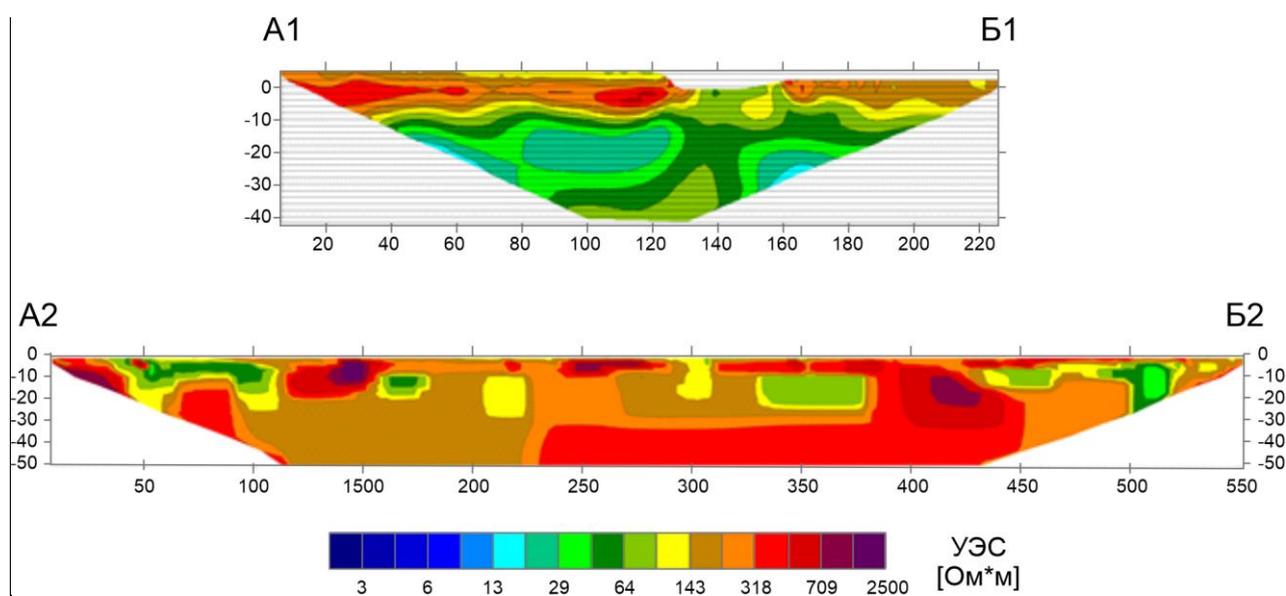


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы по профилям А1-Б1, А2-Б2, схема исследования Шлюмберже.

По гидрогеохимическим особенностям можно выделить четыре группы вод: трещинно-жильные воды гранитоидов (группа I), воды зоны региональной трещиноватости гранитоидов в условиях антропогенного влияния (группа II), поверхностные воды в условиях техногенной нарушенности (группа III) и поверхностные воды реки Ояш (группа IV).

Первые (I) изучены в скважинах на ул. Молодежная, водозаборной (централизованного водоснабжения поселка) и колонкой на ул. Школьной. Они характеризуются HCO_3 Mg-Ca составом с величиной общей минерализации от 496 до 553 мг/дм³ и содержанием кремния от 7,2 до 13,3 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают восстановительной обстановке с величинами pH от 7,3 до 7,5; Eh от -81,2 до -28,0 мВ и O_2 раств. от 1,6 до 7,7 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов для данной группы составляют: Ca/Si 9,56; Mg/Si 2,30; Na/Si 1,31; Si/Na 0,83; Ca/Na 7,56; Ca/Mg 4,42; rNa/rCl 10,51 и SO₄/Cl 4,39,

что может указывать на накопление в водах кальция, магния и протекание процессов окисления сульфидов. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U от $5,25 \cdot 10^{-4}$ до $1,80 \cdot 10^{-3}$ и ²³²Th от $4,04 \cdot 10^{-7}$ до $1,54 \cdot 10^{-5}$. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от $2,25 \cdot 10^{-4}$ до $2,92 \cdot 10^{-2}$, при среднем $9,16 \cdot 10^{-3}$. Активность радона в водах варьирует в широких пределах от 6,5 до 97,0 Бк/дм³. Невысокие концентрации ²²²Rn в водозаборной скважине (№ 2 на рис. 1) связаны с высокой трещиноватостью выветрелых гранитов.

Вторая группа (II) наиболее многочисленная и характеризуется в основном HCO₃ Mg-Ca составом с величиной общей минерализации от 511 до 877 мг/дм³ и содержанием кремния от 5,8 до 9,7 мг/дм³. Геохимические условия среды изменяются от восстановительных до окислительных (Eh -46,8 – +212,7 мВ), pH от 6,6 до 7,5 и O₂раств. от 1,8 до 6,6 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов по отношению к первой группе возрастают: Ca/Si 16,25; Ca/Na 13,22; Ca/Mg 6,68, снижаются: rNa/rCl 1,07 и SO₄/Cl 1,74, сопоставимые величины отмечаются у Mg/Si 2,54; Na/Si 1,37; Si/Na 0,82, предположительно во второй группе преобладающее влияние на формирование состава вод оказывают породы с существенной ролью кальциевых алюмосиликатов. Широко проявлены процессы антропогенного загрязнения, что отмечается в росте концентраций (мг/дм³): SO₄ до 157; Cl до 66,8; NO₃ до 259; Na до 37,6; Br до 0,08; Sr до 1,49 и других. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U от $1,05 \cdot 10^{-3}$ до $3,97 \cdot 10^{-2}$ и ²³²Th от $1,86 \cdot 10^{-7}$ до $2,43 \cdot 10^{-5}$. ²³²Th/²³⁸U отношение в радоновых водах варьирует в интервале от $9,91 \cdot 10^{-5}$ до $1,89 \cdot 10^{-3}$, при среднем $8,46 \cdot 10^{-4}$. Активность радона в водах варьирует в широких пределах от 4,0 до 38,0 Бк/дм³.

Третья геохимическая разновидность (группа III) характеризуются SO₄-HCO₃ Na-Mg-Ca составом с величиной общей минерализации от 385 до 466 мг/дм³ и содержанием кремния от 5,0 до 9,6 мг/дм³ (рис. 1б). Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с величинами pH от 7,8 до 8,6; Eh от +107,8 до +145,6 мВ и O₂раств. от 6,5 до 14,4 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов для данной группы составляют: Ca/Si 9,55; Mg/Si 3,07; Na/Si 2,97; Si/Na 0,39; Ca/Na 3,51; Ca/Mg 3,33; rNa/rCl 9,46 и SO₄/Cl 11,49, что говорит о накоплении в них магния, кальция и натрия. Также отмечаются признаки загрязнения, связанные с эксплуатацией карьера. Выявлены высокие значения (мг/дм³): NO₂ до 1,0; NO₃ до 51,7; Na до 20,4; NH₄ до 0,82. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U от $1,02 \cdot 10^{-2}$ до $1,16 \cdot 10^{-2}$ и ²³²Th от $2,60 \cdot 10^{-6}$ до $3,10 \cdot 10^{-5}$. ²³²Th/²³⁸U отношение в радоновых водах варьирует в интервале от $2,43 \cdot 10^{-4}$ до $2,69 \cdot 10^{-3}$, при среднем $1,83 \cdot 10^{-3}$. Активность радона в водах варьирует в пределах от 2 до 39 Бк/дм³, но не превышает нормы ПДК (рис 1в).

Поверхностные воды реки Ояш (группа IV) характеризуются в основном HCO₃ Ca составом с величиной общей минерализации от 418 до 466 мг/дм³ и содержанием кремния от 1,22 до 1,24 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с величинами pH от 8,4 до 8,5; Eh от +148,3 до +150,0 мВ и O₂раств. от 8,7 до 9,5 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 65,99; Mg/Si 10,73; Na/Si 12,97; Si/Na 0,08; Ca/Na 5,77; Ca/Mg 39,72; rNa/rCl 7,96 и SO₄/Cl 3,35, что говорит о накоплении

в них магния, кальция и натрия. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U от 2,27·10⁻³ до 2,77·10⁻³ и ²³²Th от 6,92·10⁻⁷ до 1,75·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в радоновых водах изменяется в интервале от 2,50·10⁻⁴ до 7,7·10⁻³, при среднем 3,99·10⁻³. Активность радона в водах варьирует от 1 до 12 Бк/дм³.

Анализ имеющихся данных выявил особенности вертикальной гидрогеохимической зональности и состава фоновых трещинно-жильных вод гранитоидов, изученных в скважине на ул. Молодежная (№ 10 на рис. 1а). Как показали результаты изучения быстроизменяющихся параметров, мощность зоны активной циркуляции подземных вод составляет около 20 метров, глубже превалирует затрудненный водообмен с восстановительными условиями геохимической обстановки (Eh от -81,2 до -28,0 мВ; O₂раств. от 1,83 до 4,14 мг/дм³). Наблюдается инверсия гидрогеохимического разреза и снижение величины общей минерализации от 511 – 877 мг/дм³ на глубинах 7,5-20 метров до 496-540 мг/дм³ на глубинах 56-70 метров. Это сопровождается снижением концентраций SO₄, Cl, NO₃, Ca, Na, Br, Li, B, Al, V, Cr, As, Se, Sr, I и закономерным ростом F, Sc, Mn, Ga, Rb, Zr, Ba. Высокие содержания последних связаны с водовмещающими гранитами, поскольку в них присутствуют минералы-концентраторы: флюорит (F, Sc), биотит (Mn, Rb, Ba, Ga), апатит (Sc), циркон (Zr) и сфен (Mn, Zr, F).

Выполненные исследования позволили рассмотреть широкий спектр химических элементов и оценить качество подземных вод из скважин нецентрализованного водоснабжения. Установлено, что воды некоторых из них представляют большую опасность для здоровья человека и не могут использоваться для питьевых целей (табл. 1). Наибольшую токсичность в водах представляют уран и радон, концентрации которых достигают 0,125 мг/дм³ (превышение в 8,3 раза) и 167 Бк/дм³ (превышение в 2,8 раза).

Таблица 1

Содержания химических элементов, вносящих вклад в загрязнение вод с. Новобибеево

№ на рис. 1а	²²² Rn	NO ₃	Si	Mn	Fe	U
	Бк/дм ³					
1	6	23,10	5,8	0,015	0,003	0,002
2	34	0,73	7,2	0,370	0,017	0,001
6	34	0,05	6,7	0,124	0,135	0,040
9	57	0,45	7,6	0,430	0,033	0,001
10	97	0,05	11,8	0,313	0,694	0,002
11	164	99,00	6,9	0,023	0,145	0,008
12	167	52,40	8,8	0,011	0,291	0,125
ПДК	60	45	10	0,1	0,3	0,015

Примечание: Жирным шрифтом выделены элементы с превышением ПДК.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1) Открыто новое проявление слаборадоновых вод – Новобибеевское. Воды Новобибеевского сельского поселения и дренажные воды карьера бутового камня «Новобибеевский» характеризуются преимущественно HCO_3 Mg-Ca составом с величиной общей минерализации от 496 до 877 мг/дм³ и содержанием кремния от 5,8 до 13,3 мг/дм³. Геохимические параметры среды изменяются от восстановительных до окислительных (Eh от -81,2 до +212,7 мВ); $\text{O}_{2\text{раств.}}$ от 1,6 до 7,9 мг/дм³. Выделены четыре геохимических разновидности природных вод: трещинно-жильные воды гранитоидов, воды зоны региональной трещиноватости гранитоидов в условиях антропогенного влияния, поверхностные воды в условиях техногенной нарушенности и поверхностные воды реки Ояш. Содержания радионуклидов варьируют в широких пределах (мг/дм³): ^{238}U от $5,25 \cdot 10^{-4}$ до 0,13 и ^{232}Th от $1,86 \cdot 10^{-7}$ до $2,43 \cdot 10^{-5}$. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение в водах варьирует в интервале от $2,63 \cdot 10^{-5}$ до $2,92 \cdot 10^{-2}$, при среднем $4,24 \cdot 10^{-3}$. Активность ^{222}Rn в скважинах изменяется от 4,0 до 167,5 Бк/дм³.

2) Сравнительный анализ состава подземных вод ряда скважин нецентрализованного водоснабжения с действующими в России нормативными документами выявил их существенное загрязнение за счет антропогенных и природных факторов. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют высокие содержания в водах урана и радона.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025, РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научных проектов № 19-45-540004 и 20-45-543004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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) // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири, вып. 14. – Томск, 1979. – С. 47-51.
3. Гусев В.К., Вериго Е.К. Радоновые воды Колывань-Томской складчатой зоны, их использование и охрана // Изменение природных условий под влиянием деятельности человека. – Новосибирск: Наука, 1984. - С. 99–107.
4. Вараксин Ю.Н., Свиридов В.Г., Росляков Н.А., Афанасьев А.Т., Вавилихин Г.А., Васильев И.П., Виниченко В.И., Леонов А.Н., Марус А.И., Михантьева Л.С., Нестеренко Г.В., Самсонов Г.Л., Сердюк З.Я. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Том II. Полезные ископаемые. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. – 254 с.
5. Росляков Н.А., Жмодик С.М., Пахомов В.Г. Естественные радионуклиды в геологической среде Новосибирской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: сб. материалов IV Международной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 461-464.
6. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф., Корнеева Т.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод (юг Западной Сибири) // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9. – № 4. – С. 1255-1274.
7. Novikov D.A., Dultsev F.F., Chernykh A.V. Role of water-rock interactions in the formation of the composition of radon waters of the Zaeltsovsky field (the southern part of West Siberia) //

Journal of Physics: Conference Series. Second International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Telangana, India, 20-21 December 2019). – 2020. – Т. 1451.

8. Novikov D.A., Korneeva T.V. Microelements in Radon Waters of The Zaelsovsky field (The Southern Part of West Siberia) // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Secunderabad, Telangana, India, 5-6 December 2018). – 2019. – Т. 1172. – № 1.

9. Корнеева Т.В., Новиков Д.А. Формы миграции химических элементов в радоновых водах месторождения "Горводолечебница" (г. Новосибирск) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 287-291

10. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Сухорукова А.Ф., Максимова А.А., Черных А.В., Деркачев А.С. Радионуклиды в природных водах Новосибирской городской агломерации // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. материалов IV Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Улан-Удэ, 17-20 августа 2020 г.) – 2020. – С. 134-138.

11. Новиков Д.А., Вакуленко Л.Г., Сухорукова А.Ф. Геохимия системы вода-порода проявления слаборадоновых вод "Инские источники" (юг Западной Сибири) // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Улан-Удэ, 17-20 августа 2020 г.), 2020. С. 88-92.

12. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Вакуленко Л.Г., Сухорукова А.Ф., Пырьев А.Н., Максимова А.А., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В. Изотопно-геохимические особенности проявления слаборадоновых вод «Инские источники» (юг Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. Т. 332. – № 3. – С. 135–145.

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

14. Объяснительная записка к Геологической карте СССР. Серия Кузбасская. Масштаб 1:200000. Лист N-44-VI: объяснительная записка; Михайловский Д.В., Мартынов В.А. – М., 1979.

REFERENCES

1. Posohov E.V., Tolstihin N.I. Mineral'nye vody (lechebnye, promyshlennye, jenergeticheskie). – L.: Nedra, 1977. – 240 s.

2. Verigo E.K., Bykova V.V., Gusev V.K. Zael'covskoe mestorozhdenie radonovyh vod (Novosibirskoe Priob'e) // Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemym Zapadnoj Sibiri, vyp. 14. – Tomsk, 1979. – S.47-51.

3. Gusev V.K., Verigo E.K. Radonovye vody Kolyvan'-Tomskoj skladchatoj zony, ih ispol'zovanie i ohrana // Izmenenie prirodnyh uslovij pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – S. 99–107.

4. Varaksin Ju.N., Sviridov V.G., Rosljakov N.A., Afanas'ev A.T., Vavilihin G.A., Vasil'ev I.P., Vinichenko V.I., Leonov A.N., Marus A.I., Mihant'eva L.S., Nesterenko G.V., Samsonov G.L., Serdjuk Z.Ja. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Zapadnoj Sibiri. Tom II. Poleznye iskopaemye. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NIC OIGGM, 1998. – 254 s.

5. Rosljakov N.A., Zhmodik S.M., Pahomov V.G. Estestvennye radionuklidy v geologicheskoy srede Novosibirskoj oblasti // Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitanija cheloveka: sb. materialov IV Mezhdunarodnoj konferencii. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – S. 461-464.

6. Novikov D.A., Suhorukova A.F., Korneeva T.V. Hidrogeologija i gidrogeohimija Zael'covsko-Mochishhenskogo projavlenija radonovyh vod (jug Zapadnoj Sibiri) // Geodinamika i tektonofizika. – 2018. – Т. 9. – № 4. – С. 1255-1274.

7. Novikov D.A., Dultsev F.F., Chernykh A.V. Role of water-rock interactions in the formation of the composition of radon waters of the Zaelsovsky field (the southern part of West Siberia) // Journal of Physics: Conference Series. Second International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Telangana, India, 20-21 December 2019). – 2020. – T. 1451.

8. Novikov D.A., Korneeva T.V. Microelements in Radon Waters of The Zaelsovsky field (The Southern Part of West Siberia) // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Secunderabad, Telangana, India, 5-6 December 2018). – 2019. – T. 1172. – № 1.

9. Korneeva T.V., Novikov D.A. Formy migracii himicheskikh elementov v radonovykh vodah mestorozhdeniya "Gorvodolechebnica" (g. Novosibirsk) // Trudy Fersmanovskoj nauchnoj sessii GI KNC RAN. – 2020. – № 17. – S. 287-291

10. Novikov D.A., Dul'cev F.F., Suhorukova A.F., Maksimova A.A., Chernykh A.V., Derkachev A.S. Radionuklidy v prirodnykh vodah Novosibirskoj gorodskoj aglomeracii // Geologicheskaja jevoljucija vzaimodejstvija vody s gornymi porodami: Materialy chetvortoj Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Ulan-Udje, 17-20 avgusta 2020 g.), 2020. S. 134-138.

11. Novikov D.A., Vakulenko L.G., Suhorukova A.F. Geohimija sistemy voda-poroda projavlenija slaboradonovykh vod "Inskie istochniki" (jug Zapadnoj Sibiri) // Geologicheskaja jevoljucija vzaimodejstvija vody s gornymi porodami: sb. materialov IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Ulan-Udje, 17-20 avgusta 2020 g.). – 2020. – S. 88-92.

12. Novikov D.A., Kopylova Ju.G., Vakulenko L.G., Suhorukova A.F., Pyrjaev A.N., Maksimova A.A., Dul'cev F.F., Chernykh A.V. Izotopno-geohimicheskie osobennosti projavlenija slaboradonovykh vod «Inskie istochniki» (jug Zapadnoj Sibiri). // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2021. – T. 332. – № 3. – S. 135–145.

13. Novikov D.A., Suhorukova A.F., Korneeva T.V., Kmenova-Totceva R.M., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Dul'cev F.F., Chernykh A.V. Hidrogeologija i gidrogeohimija mestorozhdenija mineral'nyh radonovykh vod «Kamenskoe» (g. Novosibirsk) // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2021. – T. 332. – № 4. – S. 192–208

14. Objasnitel'naja zapiska k Geologicheskoj karte SSSR. Serija Kuzbasskaja. Masshtab 1:200000. List N-44-VI: ob#jasnitel'naja zapiska ; Mihajlovskij D.V., Martynov V.A. – M., 1979.

© Ф. Ф. Дульцев, Д. А. Новиков, А. Н. Фаге, А. С. Деркачев,
А. А. Максимова, А. В. Черных, 2021