

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Г. М. Есильканов¹, Е. Г. Язиков², Е. З. Шакинов¹, Н. Ж. Мухамедияров¹, М. Т. Дюсембаева¹,
А. Ж. Ташекова¹, В. В. Колбин¹, А. Е. Темиржанова¹, А. О. Айдарханов¹

¹Института радиационной безопасности и экологии
Курчатов, Казахстан, al-g_007@mail.ru

²Томский политехнический университет
Томск, Россия, yazikov@tpu.ru

GEOCHEMICAL FEATURES OF URANIUM AND THORIUM DISTRIBUTION IN GROUNDWATER OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

G. M. Yessilkanov¹, E. G. Yazikov², Ye. Z. Shakenov¹, N. Zh. Mukhamediyarov¹, M. T. Dyussebayeva¹,
A. Zh. Tashekova¹, V. V. Kolbin¹, A. Ye. Temirzhanova¹, A. O. Aidarkhanov¹

¹Institute of Radiation Safety and Ecology
Kurchatov, Kazakhstan, al-g_007@mail.ru

²Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia, yazikov@tpu.ru

The prevalence of thorium and uranium in groundwater of different composition and mineralization in the territory of the Semipalatinsk test site (STS) was studied. The studied waters are diverse in chemical composition: 14 % of the samples had a hydrocarbonate, 69 % – sulfate and 17 % – chloride types. The dependence of the uranium increase in the water with increasing salinity for sulfate, and chloride waters and its reduction in the hydrocarbonate waters was revealed. Uranium concentration in the STS groundwater exceeds clarke values for groundwater of hypergenesis zone (HZ) and continental salinity zone (CSZ) by 15 and 5 times respectively.

Введение

Естественные радионуклиды, такие как торий и уран, являются основными источниками природной радиоактивности подземных вод. Изучение данных элементов важно для мониторинга эксплуатируемых, рекультивируемых или закрытых урановых рудников [7, 9]. Кроме того, остается актуальным уточнение уровней концентраций урана и тория в водах разного состава [1].

Целью данного исследования было изучение геохимических особенностей поведения урана и тория в подземных водах СИП.

Материалы и методы

Территория Семипалатинского испытательного полигона находится в северо-восточной части Казахстана, в восточной части Казахского мелкосопочника, в условиях холодного полуаридного степного климата [2, 8].

Всего изучено 60 колодцев и скважин. Отбор проб проводился в 2017 году (весенний, летний, осенний периоды) в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85. Всего отобрано 179 проб воды.

Определение pH воды проводилось на месте отбора с помощью прибора Марк 901.

Исследование содержания кальция, сульфатов, гидрокарбонатов, хлоридов и общей жесткости про-

водилось титриметрическими, колориметрическими, потенциометрическими и гравиметрическими методами [3].

Содержание U, Th определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7700x [11].

Статистическая обработка материала проводилась с помощью программ MS Excel 2010 и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение

Величина pH для изучаемых вод изменяется в диапазоне 6,2–9,0; среднее значение для всех преобладающих типов вод составляет 7,6. В среднем по установленным уровням pH воды изученных подземных вод можно отнести к слабощелочным.

Изученные подземные воды СИП представляют собой колодцы и скважины, которые существенно различаются по условиям миграции урана и тория. По химическому составу и преобладающим ионам изучаемые воды относятся к водам гидрокарбонатного-натриево-магниевого, сульфатного-натриево-магниевого, сульфатного-натриево-кальциевого и хлоридный-натриево-магниевого состава. По распространённости подземные воды СИП образуют следующий убывающий ряд:

Сульфатные (69 %) > Хлоридные (17 %) >
> Гидрокарбонатные (14 %)

Полученные данные по макрокомпонентному составу вод согласуются с литературными источниками, где описаны основные закономерности химического состава подземных вод в зависимости от их минерализации [4, 5, 10].

В таблице 1 представлены данные о распределении тория и урана в изученных водах.

Содержание тория изменяется в широком диапазоне от 0,01 до 1,7 мкг/л, хлоридные воды имеют в среднем более высокие концентрации данного элемента и достигают 0,2 мкг/л. Среднее содержание тория в подземных водах СИП не превышает кларки ЗГ и ЗКЗ. Полученные результаты согласуются с литературными данными о низкой подвижности Th в подземных водах активного водообмена [4].

Концентрация урана в изучаемых подземных водах аналогично изменяется в большом диапазоне. При этом концентрация данного элемента в гидрокарбонатных водах меньше – от 0,5 мкг/л до 28 мкг/л. В сульфатных водах общее содержание урана составляет 25 мкг/л с разбросом от 0,4 до 128 мкг/л. Для хлоридных подземных вод характерно содержание урана на уровне 12 мкг/л.

Содержание урана в подземных водах СИП превышает кларковые значения для вод ЗГ и ЗКЗ в 15 и 5 раз соответственно. Вероятно, одной из причин относительно высоких концентраций урана в воде является засушливый климат исследуемой территории.

Согласно работам [4, 6] в подземных водах регионов с аридным климатом, по сравнению с гумидным, зафиксировано повышенное содержание U. Следует отметить, что в условиях аридной климатической зоны с жарким сухим климатом воды активного водообмена отличаются благоприятными условиями для выщелачивания урана [4].

Заключение

Изученные воды существенно различались по химическому составу, хотя и прослеживались схожие условия их формирования. На формирование химического состава природных вод СИП оказывают влияние механизмы испарительного концентрирования и континентального засоления, выщелачивания водовмещающих пород.

Подземные воды на территории СИП имеют разнообразный химический состав, на всех изученных участках встречаются воды гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридного типов. Важно отметить, что большинство водоисточников имеют слабощелочные воды сульфатного типа. Результаты проведенных исследований показали, что изученные воды характеризуются низкими концентрациями тория относительно кларков подземных вод ЗГ и ЗКЗ. Содержание урана, наоборот высокое относительно обоих кларковых значений.

Таблица 1. Содержание тория и урана в подземных водах СИП, мкг/л

Элемент	Тип воды			Среднее содержание в подземных водах			ПДК [18]
	Гидрокарбонатные n = 23 Me (MAO) (min–max)	Сульфатные n = 115 Me (MAO) (min–max)	Хлоридные n = 41 Me (MAO) (min–max)	Среднее для СИП Me (MAO) (min–max)	ЗГ [10]	ЗКЗ [10]	
Th	$\frac{0,04 (0,01)}{0,03-0,4}$	$\frac{0,05 (0,06)}{0,01-1,7}$	$\frac{0,20 (0,16)}{0,03-0,5}$	$\frac{0,01 (0,01)}{0,01-1,7}$	0,24	0,8	–
U	$\frac{6 (5)}{0,5-28}$	$\frac{25 (17)}{0,4-128}$	$\frac{12(16)}{0,1-116}$	$\frac{20 (18)}{0,1-128}$	1,31	4,32	30

В числителе – медиана и медианное абсолютное отклонение (MAO), в знаменателе – минимум и максимум; ЗГ – подземные воды зоны гипергенеза; ЗКЗ – подземные воды зоны континентального засоления.

Литература

- Арбузов С. И., Рихванов Л. П. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие. – 33е изд., исправленное и дополненное. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 304 с.
- Байганов Ж. К. Эколого-геоботаническая характеристика территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: отчет о НИР (аналитический) / СЦНТИ; рук. Байганов Ж. К. – Семипалатинск, 1998.
- ГОСТ 26449.1–85. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы анализа соленых вод. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 101 с.
- Посохов Е. В. Общая гидрогеохимия. – Л., «Недра», 1975. 208 с.

5. Ядерная геохимия. Издание 2. Автор(ы): Титаева Н. А. Издание: Издательство Московского университета, Москва, 2000 г., 336 с.
6. Ayotte J., Gronberg J., Apodaca L. Trace elements and radon in groundwater Across the United States, 1992–2003: Scientific Investigation report. – Virginia, Reston, 2011. – 115 p.
7. Drozdak J., Leermakers M., Gao Y., Elskens M., Phrommavanh V., Descostes M. Uranium aqueous speciation in the vicinity of the former uranium mining sites using the diffusive gradients in thin films and ultrafiltration techniques // *Analytica Chimica Acta*, 2016. – V. 913. – P. 94–103.
8. Kottek M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.
9. Pandit P., Mangala P., Saini A., Bangotra P., Kumar V., Mehra R., Ghosh D. Radiological and pollution risk assessments of terrestrial radionuclides and heavy metals in a mineralized zone of the siwalik region (India) // *Chemosphere*, 2020. – V. 254. – 126857.
10. Shvartsev S. L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the earth // *Geochemistry International*, 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.
11. Water quality. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) P. 2: Determination of 62 elements. ISO 172942:2003 (E). – Switzerland, 2003. – 30 p. URL: <https://www.iso.org/standard/36127.html> (дата обращения 26.08.2017).

УРАН-ТОРИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ГРАФИТОВЫХ РУДАХ БОТОГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С. М. Жмодик¹, Е. В. Айриянц¹, Д. К. Белянин¹, Э. О. Бабаяков¹,
А. Г. Миронов², Т. Н. Мороз¹, В. А. Пономарчук¹, А. Н. Пыряев¹

¹*Институт геологии и минералогии СО РАН
Новосибирск, Россия, zhmodik@igm.nsc.ru*

²*Геологический институт им. Н. Л. Добрецова БНЦ СО РАН
Улан-Удэ, Россия*

URANIUM AND THORIUM MINERALIZATION IN GRAPHITE ORES OF BOTOGOL DEPOSIT

S. M. Zhmodik¹, E. V. Airiyants¹, D. K. Belyanin¹, E. O. Babayakov¹,
A. G. Mironov², T. N. Moroz¹, V. A. Ponomarchuk¹, A. N. Pyryaev¹

¹*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS
Novosibirsk, Russia, zhmodik@igm.nsc.ru*

²*N. L. Dobretsov Geological Institute of the BNC SB RAS
Ulan-Ude, Russia*

The unique Botogol deposit of graphite is located in the central part of East Sayan. The study of radioactive samples of the graphite ore made it possible to compare the age of uranium-thorium mineralization with existing dating for alkaline rocks of the Botogol massif containing ores. In this paper, the features of the uranium-thorium mineralization of graphite ores represented by the thorianite and a thorite of two generations are considered.

Введение

В природе распространены два генетических типа месторождений графита: 1 – метаморфогенный, с формированием графита в результате преобразования биогенного вещества при повышенных Р–Т условиях и 2 – ассоциирующий с магматическими расплавами, с образованием графита за счет С–О–Н флюидов. Для второго типа характерно, более высокое качество руд, но меньшие запасы по сравнению с метаморфогенным. Ботогольское месторождение графита расположено в центральной части Восточ-

ного Саяна. Месторождение приурочено к массиву щелочных и нефелиновых сиенитов, прорывающему иркутскую толщу венд-кембрийских мраморированных карбонатов с прослоями черных (углеродистых) кремнистых и глинисто-кремнистых сланцев. Известняки в виде крупных ксенолитов встречаются в самом массиве, к которым часто приурочены скопления графита в виде штоков [1]. Состав и текстура графита в рудных штоках разнообразны. Наиболее качественные руды (60–90 % углерода) сложены плотнокристаллическим графитом и имеют массивную текстуру. Наряду с этим в массивных рудах отдельно или в