

16. Novikov D. A. Microelements in radon waters of the Zaelsovsky field (the southern part of West Siberia) / T. V. Korneeva // Journal of Physics: Conference Series, 2019. – V. 1172. – № 012096.
17. Novikov D. A. Role of water-rock interactions in the formation of the composition of radon waters of the Zaelsovsky field (the southern part of West Siberia) / Dultsev F. F., Chernykh A. V. // Journal of Physics: Conference Series, 2020. – V. 1451. – Article 012007.
18. Novikov D. A. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaelsovsky-Mochishche zone of Novosibirsk, Russia / F. F. Dultsev, R. M. Kamenova-Totzeva, T. V. Korneeva // Environmental Earth Sciences, 2021. – V. 80. – № 216.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ УРАНА И ТОРИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д. А. Новиков^{1,2}, Ю. Г. Копылова³, Ф. Ф. Дульцев¹, Л. Г. Вакуленко^{1,2},
А. А. Максимова¹, А. А. Хвашевская³, П. А. Ян^{1,2}, А. В. Черных¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Новосибирск, Россия, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

³Томский политехнический университет
Томск, Россия, unpc_voda@mail.ru

THE FIRST DATA ON THE URANIUM AND THORIUM DISTRIBUTION IN THE GROUNDWATERS OF THE OIL-GAS- BEARING DEPOSITS IN THE ARCTIC PART OF WEST SIBERIA

D. A. Novikov^{1,2}, Yu. G. Kopylova³, F. F. Dultsev¹, L. G. Valulenko^{1,2},
A. A. Maksimova¹, A. A. Khvashchevskaya³, P. A. Yan^{1,2}, A. V. Chernykh¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russia

³Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia, unpc_voda@mail.ru

The results studying the distribution of uranium and thorium in groundwaters of the oil-gas-bearing deposits of the Arctic regions of West Siberia are presented for the first data. The studied water is very diverse in chemical composition and TDS (from ultrafresh to weak brines). The concentration of radionuclides in waters are (mg/l): ²³⁸U ($4.90 \cdot 10^{-7} - 5.14 \cdot 10^{-3}$), ²³²Th ($1.90 \cdot 10^{-6} - 8.93 \cdot 10^{-3}$). The ratio of ²³²Th/²³⁸U is 0.07–93.1 and the maximum value is reached in waters of the valanginian aquifer. For waterproof horizons, the ratio of ²³²Th/²³⁸U is 1.82–5.23 with an average value of 3.56. The rocks of Bazhenov Formation, the nature of the radioactivity of which is associated with uranium, is characterized by the lowest values of ²³²Th/²³⁸U = 0.07–1.71. The formation of the radionuclide composition of waters with high ²³²Th/²³⁸U ratios occurred in a reducing environment with the wide development of elisional processes, where thorium is capable of migration.

Введение

Накопление фактических данных по гидрогеологии и гидрогеохимии нефтегазоносных отложений арктического сектора Западной Сибири ведется с начала геологоразведочных работ на нефть и газ. Результаты этих исследований приведены в работах О. В. Равдоникас, А. Э. Конторовича, Б. П. Ставицкого, Ю. Г. Зимина, Н. М. Кругликова, В. В. Нелюби-

на, О. Н. Яковлева, Г. А. Ивановой, Г. Д. Гинсбурга, И. Н. Ушатинского, В. М. Матусевича, А. А. Карцева, А. Р. Курчикова, С. Л. Шварцева, Д. А. Новикова и многих других исследователей начиная с 1960-х годов [2–15, 17].

Несмотря на 70-летний период изучения подземных вод нефтегазоносных отложений Западной Сибири до настоящего времени в научной литературе отсутствуют сведения об их радионуклидном

составе. Это объяснялось довольно низкими концентрациями урана и тория в водах нефтегазоносных отложений. Поэтому до появления в арсенале гидрогеохимиков метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП) содержания радионуклидов в результатах химико-аналитических исследований этих вод не фиксировались.

Поведение урана и тория в природных водах различного изотопно-геохимического облика определяется в первую очередь параметрами среды, в нашем случае восстановительными. В. И. Вернадский считал, что торий не переходит в раствор и в земных условиях находится в рассеянном состоянии. «Торий принадлежит к числу тех химических элементов, которые стоят вне геохимии воды, вернее водных растворов». При этом, отмечая постоянство Th/U отношения в продуктах магматических процессов, он подчеркивает высокую степень подвижности урана в водных растворах и инертность тория, концентрации которого в земных условиях должны быть ничтожными [1]. Торий как элемент – гидролизат не склонен накапливаться в водах под воздействием экзогенных процессов разрушения алюмосиликатных пород, а стремится к образованию гидроокислов и осаждению с вторичной фазой в условиях окислительной среды.

В настоящей работе приводятся первые данные по распределению урана и тория в подземных водах юрско-меловых нефтегазоносных отложений арктического сектора Западной Сибири. Учитывая, что эти резервуары в изучаемом районе характеризуются широким проявлением повышенных и аномально-высоких пластовых давлений (АВПД), природа которых связана с функционированием элизионных водонапорных систем [7, 11, 15], нами также было рассмотрено их распределение в основных флюидоупорах, которые являлись источником первых.

Материалы и методы

В основу настоящих исследований положены материалы изучения 283 проб подземных вод, отобранных в резервуарах широкого стратиграфического диапазона (от сеномана до верхней части палеозойского фундамента) на 36 месторождениях нефти и газа арктического сектора Западной Сибири. Гидрогеохимическое опробование этих объектов проводилось во время экспедиционных работ 2017–2021 гг. Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой 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, Э. С. Шведская). Горные породы были изучены методом ИСП МС в ЦКП ИГМ СО РАН.

Результаты и их обсуждение

В пределах изученных геологических структур выявлены подземные воды разного химического состава. Во всех водоносных комплексах доминируют воды (по С. А. Шукареву) Cl Na, Cl–HCO₃ Na и HCO₃–Cl Na типов с величиной общей минерализации от 2–5 г/дм³ в прибортовых районах изучаемого региона до 63,3 г/дм³ в центральных [15, 17]. Наиболее минерализованные воды приурочены к верхнеюрскому водоносному комплексу. Конденсатогенные воды, имеющие единую историю с залежами углеводородов имеют местами более низкую минерализацию, вплоть до ультрапресных [8–9, 17]. Каждый из химических типов имеет свои особенности в распределении основных солеобразующих макро- и микрокомпонентов, концентрации которых напрямую зависят от величины их минерализации. По мере ее роста происходит закономерное увеличение содержания хлорида, натрия, магния, кальция, калия, микрокомпонентов: брома, иода, бора, аммония и стронция. При минерализации вод 15–20 г/дм³ и более в них происходит снижение содержания гидрокарбонат – иона. Концентрации сульфат – иона в среднем не превышают 20–60 мг/л³, что связано с широко известным процессом его восстановления до сероводорода еще на иловой стадии.

В распределении урана и тория такой закономерности не наблюдается. Содержания природных радионуклидов в подземных водах варьируют в широком интервале у ²³⁸U от 4,90 • 10⁻⁷ до 5,14 • 10⁻³ мг/дм³ и у ²³²Th от 1,90 • 10⁻⁶ до 8,93 • 10⁻³ мг/дм³. Установлено, что в большинстве проб концентрации урана и тория не превышают 1,0 • 10⁻³ мг/дм³, при превышении последнего в большинстве изученных объектов при изменении ²³²Th/²³⁸U отношения от 0,07 до 93,1, при среднем 5,6. (рис. 1).

Алеврито-глинистые отложения изученной части разреза (байос-альб), формирующие флюидоупоры в составе резервуаров арктического сектора Западной Сибири, представлены в основном сероцветными аргиллитами: темно-серыми, до черных, в различной степени углистых, реже серыми. Глинистые и кремнисто-глинистые породы верхнеюрского баженовского горизонта буровато-черные. Аргиллиты тонкоотмученные массивные и в различной степени алевритистые, алевритовые, участками в тонком переслаивании с алевролитами.

В составе глинистого вещества средне-верхнеюрских (добаженовских) пород, как правило, в разной степени преобладает диоктаэдрическая слюда мусковитового типа 2M1 с небольшой примесью смешанослойного иллит/смектита, затем следует хлорит, периодически появляется каолинит низкой и средней степени структурной упорядоченности. Для кероген-карбонатно-глинисто-кремнистой баженовской свиты изучаемого района Западной Сибири характерны низкая карбонатность высокая глини-

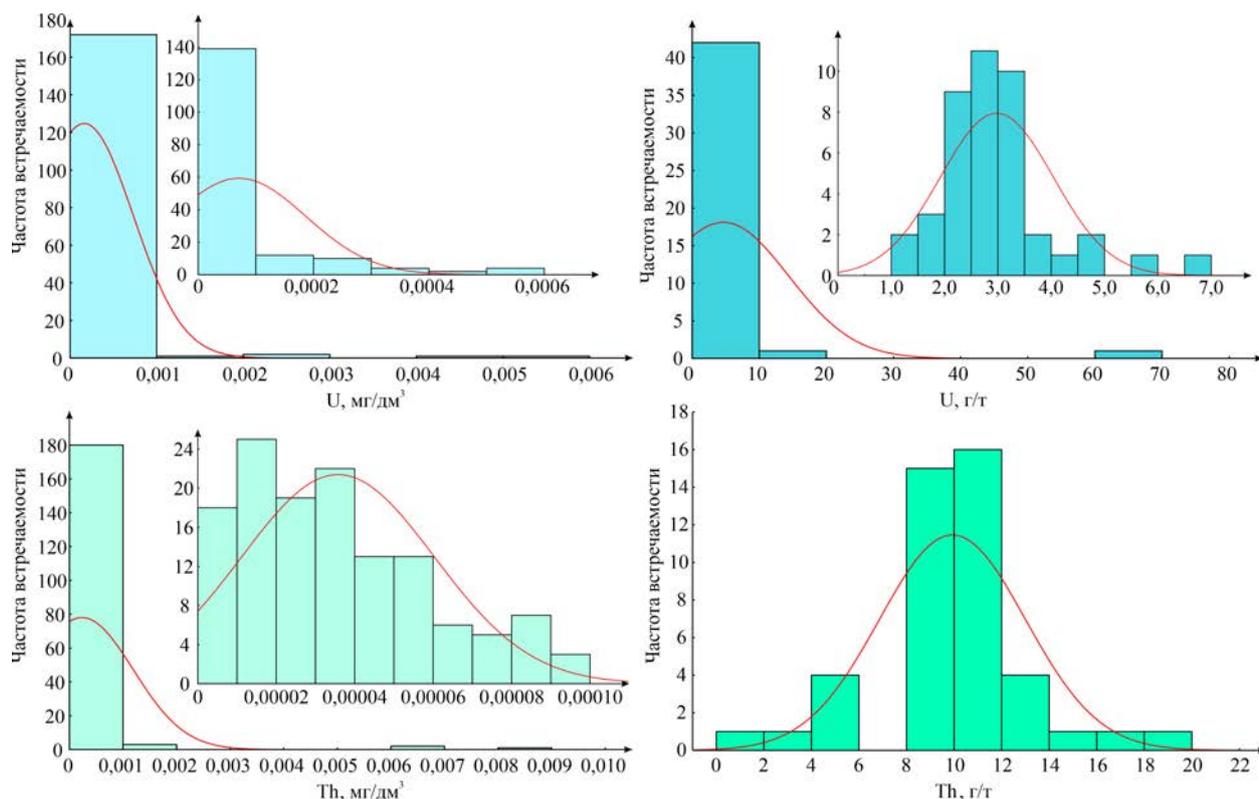


Рис. 1. Распределение ^{238}U и ^{232}Th (б) в подземных водах и водоупорных породах нефтегазоносных отложений юры и мела арктического сектора Западной Сибири

ность, пониженное содержание керогена [16]. Разрезы сложены пачками микститов кремнисто-глинистых, глинисто-кремнистых с прослоями аргиллитов алевритистых и силицитов. В составе глинистой части пород существенно преобладает диоктаэдрическая слюда, в подчиненном количестве отмечается хлорит, в разной степени проявлен смешанослойный иллит/смектит, иногда разупорядоченный смектит.

Состав глинистого вещества нижнемеловых отложений отличается от юрского преобладанием хлорита. Соотношение диоктаэдрической слюды и каолинита меняется вверх по разрезу – содержание первой уменьшается, а второго растет. Постоянно отмечается небольшая примесь смешанослойных образований и монтмориллонита.

Природа радиоактивности большинства изученных флюидоупоров юрско-мелового разреза также связана с торием, за исключением баженовской свиты, где доминирует уран. Концентрации ^{238}U находятся в пределах 1,42–66,51 г/т и ^{232}Th – 1,95–19,13 г/т (см. рис. 1). Средние концентрации у урана составляют 4,60 г/т и 9,88 у тория соответственно. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношение изменяется от 1,82 до 5,23, при среднем значении 3,56.

Анализ полученных данных по распределению урана и тория совместно с результатами гидродинамических исследований нефтегазоносных отложений в регионе впервые позволил выявить общие черты вертикальной радиохимической зональности

системы вода – порода (рис. 2). Скорость уплотнения пород относительно высока при глубине их захоронения до 1000 м и замедляется с ее ростом. Это явление отмечено во многих нефтегазоносных бассейнах мира, а в изучаемом регионе повышенные и аномально высокие, т.е. сверхгидростатические пластовые давления в водонапорной системе мезозоя наблюдаются, начиная с низов апт-альб-сеноманского комплекса и доминируя в юрских [7]. В пост-триасовой части разреза сверху вниз отчетливо выделяются две гидродинамические зоны: гидростатических давлений и повышенных, переходящих в АВПД. К первой приурочены большинство водоносных горизонтов апт-альб-сеноманского водоносного комплекса. Ко второй – горизонты неокома и юры, причем в неокомских наблюдается переход от повышенных давлений к АВПД. В юрских комплексах в изучаемом регионе доминируют повышенные давления и АВПД, которые снижаются до гидростатических по мере приближения к периферии бассейна.

Таким образом, по мере развития осадочно-породного бассейна, уплотняющиеся флюидоупоры были источником элизонных вод и в условиях восстановительной геохимической среды принимали активное участие в формировании радионуклидного состава подземных вод и обогащения их в большей мере торием, чем ураном (рис. 2 а, б). Вариация $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ отношения в системе вода – порода (рис. 2в) в зависимости от возраста вмещающих пород выяви-

ла группу точек (синий овал) в водоносных горизонтах берриаса-валанжина с величиной близкой к 0,1. Этот факт мы можем объяснить восходящей разгрузкой элизионных вод, отжатых из баженовской свиты (желтый овал), по зонам тектонических нарушений.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, отметим, что изученные воды весьма разнообразны по химическому составу и величине общей минерализации (от ультрапресных до слабых рассолов). Содержания природных радионуклидов варьируют в широком интервале (мг/дм³): ²³⁸U (4,90 • 10⁻⁷ – 5,14 • 10⁻³), ²³²Th (1,90 • 10⁻⁶ – 8,93 • 10⁻³). ²³²Th/²³⁸U отношение изменяется от 0,07 до 93,1 и его максимальные значения характеризуют воды валанжинских водоносных горизонтов. ²³²Th/²³⁸U отношение во флюидоупорах находится в довольно узком диапазоне и составляет 1,82–5,23, при среднем значении 3,56. На этом фоне самыми низкими отношениями ²³²Th/²³⁸U = 0,07–1,71 отличаются породы баженовской свиты, природа

радиоактивности которой связана с ураном. Формирование радионуклидного состава подземных вод нефтегазоносных отложений арктического сектора Западно-Сибирского бассейна с высокими ²³²Th/²³⁸U отношениями шло в восстановительной среде в условиях элизионных водонапорных систем с высокими пластовыми температурами и давлениями, вплоть до аномально высоких с Ка до 2,0 и более. Следует отметить, что настоящие исследования по фракционированию химических элементов в системе вода – горная порода будут продолжены в направлении скрупулезного изучения водовмещающих отложений.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025, РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-70074 «Ресурсы Арктики», РФФИ и Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках научного проекта № 19-45-890005 и Государственного Задания РФ «Наука» в рамках проекта № FSWW-0022-2020.

Литература

- Вернадский В. И. Очерки геохимии. – Л.: Горно-геолого-нефтяное изд-во, 1934. – 380 с.
- Гинсбург Г. Д., Иванова Г. А. Основные черты геохимии подземных вод в юрско-меловой толще юго-западной части Енисей-Хатангской нефтегазоносной области // Енисей-Хатангская нефтегазоносная область. – Л.: НИИГА, 1974. – С. 71–85.
- Конторович А. Э., Нестеров И. И., Салманов Ф. К., Сурков В. С., Трофимук А. А., Эрвье Ю. Г. Геология нефти и газа Западной Сибири. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
- Кох А. А., Новиков Д. А. Гидродинамические условия и вертикальная гидрогеохимическая зональность подземных вод в западной части Хатангского артезианского бассейна // Водные ресурсы, 2014. – Т. 41. – № 4. – С. 375–386.
- Кругликов Н. М. Гидрогеология северо-западного борта Западно-Сибирского артезианского бассейна // Тр. ВНИГРИ. – Л.: Недра, 1964. – Вып. 238. – 166 с.
- Кругликов Н. М., Нелюбин В. В., Яковлев О. Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и особенности формирования залежей углеводородов. – Л.: Недра, 1985. – 279 с.
- Новиков Д. А. Роль элизионного водообмена в формировании гидродинамического поля Ямало-Карской депрессии // Литология и полезные ископаемые, 2019. – № 3. – С. 248–261.
- Новиков Д. А., Борисов Е. В. Прогноз нефтегазоносности юрских резервуаров зоны сочленения Енисей-Хатангского и Западно-Сибирского бассейнов // Геология и геофизика, 2021. – Т. 62. – № 2. – С. 216–237.
- Новиков Д. А., Вакуленко Л. Г., Ян П. А. Особенности латеральной гидрогеохимической и аутигенно-минералогической зональности оксфордского регионального резервуара Надым-Тазовского междуречья // Геология и геофизика, 2019. – Т. 60. – № 6. – С. 843–859.
- Новиков Д. А., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В., Хилько В. А., Юрчик И. И., Сухорукова А. Ф. Гидрогеохимия доюрских комплексов Западной Сибири // Геология и геофизика, 2020. – Т. 61. – № 11. – С. 1561–1576.
- Новиков Д. А., Лепокуров А. В. Гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений на структурах южной части Ямало-Карской депрессии // Геология нефти и газа, 2005. – № 5. – С. 24–33.
- Равдоникас О. В. Основные итоги гидрогеологических исследований нефтеносных районов севера Западной Сибири // Труды НИИГА, 1962. – Вып. 129. – С. 194–201.
- Ставицкий Б. П., Курчиков А. Р., Конторович А. Э., Плавник А. Г. Гидрохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна // Геология и геофизика, 2004. – Т. 45. – № 744. – С. 826–832.
- Ушатинский И. Н., Матусевич В. М. Основные черты геохимии микроэлементов в нефтегазоносных отложениях, подземных водах и нефтях Западной Сибири // Тр. ЗапСибНИГНИ, 1970. – Вып. 35. – С. 215–253.
- Шварцев С. Л., Новиков Д. А. Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтега-

- зоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2004. – Т. 45. – № 8. – С. 1008–1020.
16. Эдер В. Г. Литология и условия образования баженновской свиты Западной Сибири. Автореферат на соискание ученой степени д.г.-м.н. – Москва, 2021. – 46 с.
17. Novikov D. A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development, 2017. – V. 44. – № 5. – P. 780–788.

ТОРИЙ-УРАНОВАЯ ТИПИЗАЦИЯ РАДОНОВЫХ ВОД ЮГА СИБИРИ

Д. А. Новиков^{1,2}, Ю. Г. Копылова³, А. А. Хвощевская³, А. А. Максимова¹,
А. С. Деркачев¹, Ф. Ф. Дульцев¹, А. В. Черных¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

Новосибирск, Россия, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Новосибирский государственный университет

Новосибирск, Россия, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

³Томский политехнический университет

Томск, Россия, unpc_voda@mail.ru

THORIUM-URANIUM TYPIFICATION OF RADON-RICH WATERS IN THE SOUTH OF WEST SIBERIA

D. A. Novikov^{1,2}, Yu. G. Kopylova³, A. A. Khvashevskaya³, A. A. Maksimova¹,
A. S. Derkachev¹, F. F. Dultsev¹, A. V. Chernykh¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

Novosibirsk, Russia, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

²Novosibirsk State University

Novosibirsk, Russia

³Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia, unpc_voda@mail.ru

Thorium-uranium typification has been proposed for the first time for 22 deposits and occurrences of radon-rich waters in the southern part of West Siberia. The studied waters are extremely diverse in gas and chemical composition, TDS, and geochemical parameters of the medium. The concentrations of natural radionuclides are (mg/dm³): ²³⁸U (3.68 • 10⁻⁷ – 1.40), ²³²Th (4.04 • 10⁻⁷ – 2.16 • 10⁻³). The activity of dissolved radon (²²²Rn) varies from 4 to 2257 Bq/dm³. The ²³²Th/²³⁸U ratio varies from 2.63 • 10⁻⁵ to 26, and its maximal values were detected in ultrafresh, thermal, alkaline waters with the reductive geochemical medium in which thorium possesses increased migration capacity. Quite the contrary, uranium migrates in the oxidative geochemical setting.

Введение

Одним из важнейших ресурсов для успешного развития любого региона являются природные воды, используемые в питьевых целях и бальнеолечении. К сожалению, в настоящее время среди огромного количества месторождений и проявлений минеральных вод Сибири современными методами изучены лишь несколько десятков. Для их полноценного использования необходимо иметь актуальное представление об их составе, в первую очередь это касается радионуклидов (²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra и ²²²Rn).

В настоящей работе сделана первая попытка торий-урановой типизации 22 месторождений и проявлений радоновых вод южных районов Сибири (рис. 1а). Следует отметить, что по некоторым из них гидрогеохимические данные приводятся впервые.

Это связано с тем, что они были открыты авторами на территории Новосибирской городской агломерации и в ее окрестностях в течение полевых сезонов 2019–2020 гг. – Инские источники, Седова заимка, Новобибеевское и Зырянское. Радоновые воды Сибири изучаются на протяжении многих лет и результаты их исследований приведены в работах В. К. Гусева, Е. К. Вериги, В. А. Елисеева, Ю. И. Кустова, Л. В. Заманы, Ю. Г. Копыловой, А. М. Плюснина, Г. М. Шпейзера, А. И. Оргильянова, А. А. Булатова, Д. А. Новикова и других [2, 4–9, 11–19, 22–23].

Поведение урана и тория в природных водах различного изотопно-геохимического облика определяется в первую очередь параметрами среды. В. И. Вернадский считал, что торий не переходит в раствор и в земных условиях находится в рассеянном состоянии. «Торий принадлежит к числу тех химиче-