

15. *Chromosomal variants among 1790 infertile men / Y. Nakamura, M. Kitamura, K. Nishimura et al. // Int. J. Urol. – 2001. – Vol. 8. – P. 49–52.*
16. *Neischlag E., Behre H. Andrology: Male reproductive health found dysfunction. – Berlin : Springer, 1997. – 320 p.*
17. *Impact of sperm morphology on DNA damage caused by oxidative stress induced by beta-nicotinamide adenine dinucleotide phosphate / T.M. Said, A. Agarwal, R.K. Sharma et al. // Fertil. Steril. – 2005. – Vol. 83. – P. 95–103.*
18. *Scarpato R., Hirvonen A., Migliore L. Influence of GSTM1 and GSTT1 polymorphisms on the frequency of chromosome aberrations in lymphocytes of smokers and pesticide-exposed greenhouse workers // Mutat. Res. – 1997. – Vol. 389, No. 3. – P. 227–235.*
19. *WHO Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Semen-Cervical Mucus Interaction. – 3rd edition. – Cambridge : Cambridge University Press, 1992. – 234 p.*

УРАНОНОСНОСТЬ СОЛЕННЫХ ОЗЕР АЛТАЙСКОГО КРАЯ

В.П. Исупов¹, М.Н. Колпакова^{2,3}, С.В. Борзенко⁴, С.С. Шацкая¹, С.Л. Шварцев^{2,3},
А.П. Долгушин⁵, Г.М. Арзамасова⁵, И.А. Бородулина¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, isupov@solid.nsc.ru

²Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Томск, Россия, tomsk@igng.tsc.ru

³Томский Политехнический Университет, Томск, Россия, marina.kolpakova@gmail

⁴Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, svb_64@mail.ru

⁵Сибирский филиал “Березовгеология”, Новосибирск, Россия, dolgushin1960@mail.ru

URANIUM-BEARING SALT LAKES OF THE ALTAI TERRITORY

V.P. Isupov¹, M.N. Kolpakova^{2,3}, S.V. Borzenko⁴, S.S. Shatskaya¹, S.L. Shvartsev^{2,3},
A.P. Dolgushin⁵, G.M. Arzamasova⁵, I.A. Borodilina¹

¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

²Tomsk Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tomsk, Russia

⁴Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁵SB “Berezovgeology”, Novosibirsk, Russia

The article presents the physico-chemical properties (pH, Eh, salinity), the content of uranium and other microcomponents (As, Li, B, Br, I, Sr) in saline lakes of the Kulunda steppe of the Altai Territory. It is shown that the soda lakes of this region have elevated U-238 content (up to 4 mg/l). The uranium content of lake waters positively correlates with the amount of carbonate and bicarbonate ions, as well as the pH of the lake waters. At the same time there is a negative correlation with the uranium mineralization. The data obtained confirm the assumption of the existence of uranium deposits of infiltration type, located along the eastern slope of Platov uplift in the north-westerly direction along the border with Kazakhstan.

Потребность в урановом сырье для атомной промышленности стимулирует интерес к его нетрадиционным источникам, в том числе гидроминеральному сырью. Среди гидроминеральных источников интерес представляют минерализованные озера различных регионов мира. Достаточно давно известно повышенное (0,03 мг/л) содержание урана в озере Иссык-куль [6,8] с запасами урана 50 тыс. т. Недавно высокая (до 0,08 мг/л) концентрация урана обнаружена в крупнейшем содовом озере мира – озере Ван, расположенном в Восточной Турции [15]. Имеется ряд работ по содержанию урана в минерализованных озерах Китая [13], Монголии [4, 5, 9, 12], Индии [14], Таджикистана [10]. Информация по ураноносности минерализованных озер Российской Федерации ограничена работами [5, 7, 9, 11]. Исследование содержания урана в минерализованных озерах представляет интерес не только с точки зрения оценки их рудогенерирующего потенциала, но и дает каче-

ственную информацию об ураноносности пород, находящихся на водосборной площади озер. Ураноносность соленых озер Алтайского края практически не изучена, что и явилось целью настоящей работы.

Данные по содержанию урана в соленых озерах получены в ходе гидрохимических экспедиций, выполненных в рамках проекта РФФИ № 13-05-00556. Точки отбора проб показаны на рисунке 1. Отбор проб производился с глубины 30–40 см в герметичные емкости объемом 0,5 л. После отбора пробы отфильтровывали от примесей взвешенных частиц и герметично закупоривали. Образцы анализировали как в полевых условиях (рН, Eh, электропроводность, температура, концентрация HCO_3^- , и свободного углекислого газа), так и в лабораторных условиях в ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск), а также в аккредитованном научно-учебно-производственном центре “Вода” ТПУ (г. Томск). С помощью GPS-навигатора производили определение координаты места от-

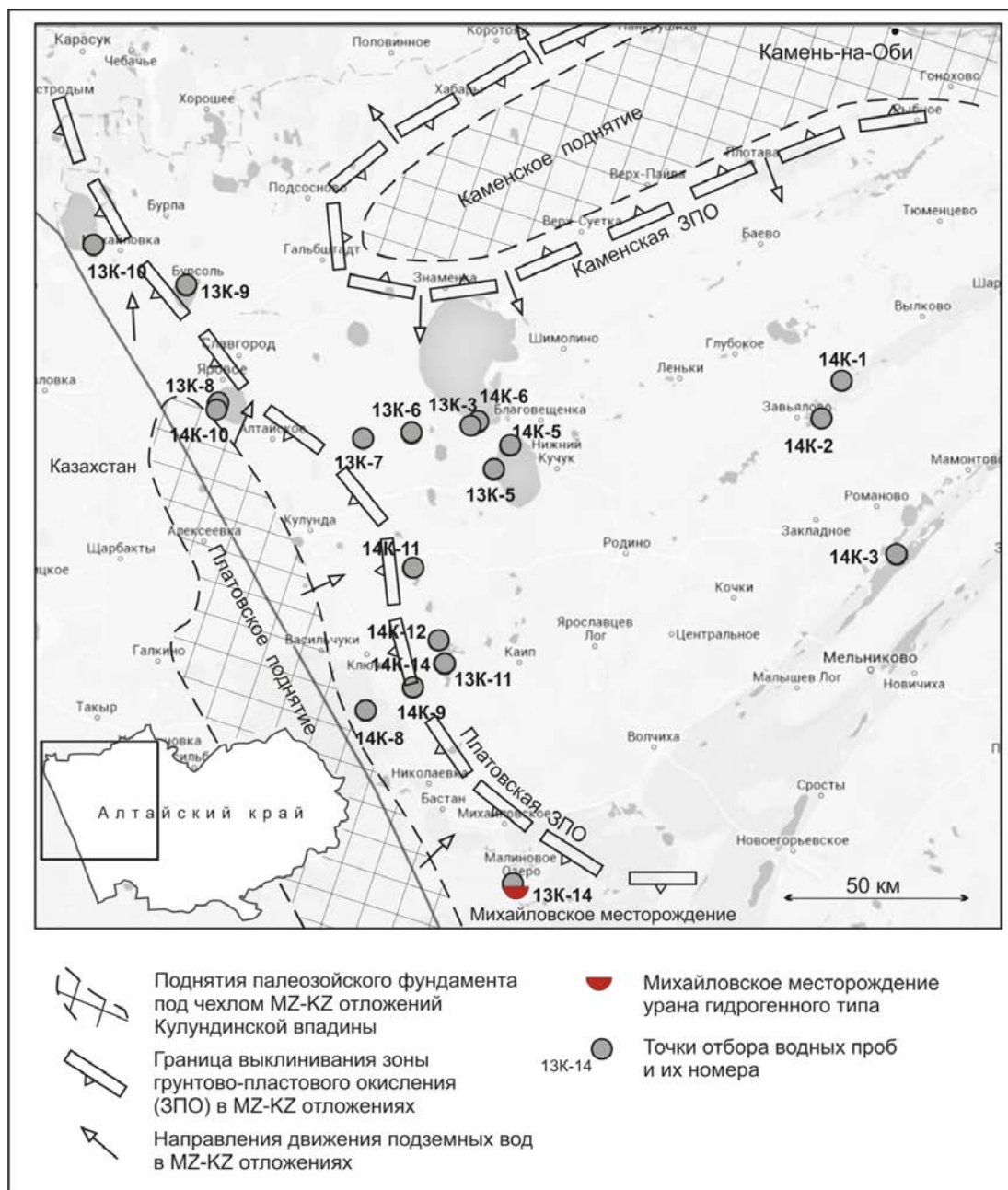


Рис. 1. Положение точек отбора проб

бора пробы (точность определения координаты отбора 6–10 м). Анализ образцов озерной воды на натрий, калий, кальций, магний, карбонат-, гидрокарбонат-, хлорид- и сульфат-ионы проводили по методикам, описанным в литературе. Анализ содержания урана и других микрокомпонентов проводили с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой “Agilent 7500 a”, лития – с использованием спектрометра Varian AA 280 FS.

Исследованные озера, преимущественно содового и хлоридного типов, приурочены к лесостепной и степной ландшафтно-климатическим зонам региона и распространены на юго-западе Алтайского края. Они различны по размерам, источникам водно-солевого пита-

ния, химическому составу и степени минерализации воды, гидрогеологическим условиям местоположения и др. Озера часто имеют изометричную форму, с диаметром от 8–10 км (Большое Яровое, Бурлинское и др.) до 35 км (Кулундинское). Глубина озер небольшая (1–6 м). Колебание уровня озер составляет 0,4–1 м [1]. В засушливые годы площадь озер резко сокращается. Почти все крупные озера бессточные. Основной частью их расходного баланса является испарение, величина которого с поверхности озер в период открытой воды составляет 350–600 мм и значительно превышает количество атмосферных осадков (250–300 мм).

В таблице 1 приведены данные по координатам точек отбора проб, а также по физико-химическим харак-

Таблица 1. Физико-химические характеристики озерных вод, минерализация и содержание урана, карбонат-, гидрокарбонат-ионов в некоторых озерах Алтайского края

№ п/п	Озеро	Год	Проба на карте	pH	Eh, мВ	U, мг/л	HCO ₃ ⁻ , г/л	CO ₃ ²⁻ , г/л	Общ. мин., г/л
1	Кулундинское	2013	13К-3	8,7	58	0,0020	1,9	0,23	144
		2014	14К-6	8,4	14	<5,7·10 ⁻³	1,4	0,06	148
2	Кучукское	2013	13К-5	8,2	83	0,0040	0,57	<0,003	324
		2014	14К-5	7,6	-27	0,018	0,74	<0,003	325
3	Б.Яровое	2013	13К-8	8,4	33	0,010	0,61	0,18	133
		2014	14К-10	8,0	72	0,024	0,56	<0,003	138
4	Куричье	2013	13К-11	8,5	74	0,027	0,61	0,12	94
		2014	14К-14	7,2	20	0,055	0,86	<0,003	323
5	Малиновое	2013	13К-14	8,4	25	0,0037	0,49	<0,003	329
6	Бурлинское	2013	13К-9	8,1	51	0,0021	0,49	<0,003	315
7	Б.Топольное	2013	13К-10	9,7	18	0,011	3,1	1,1	22
8	Шошкаралы	2013	13К-6	9,6	102	0,0055	1,025	0,108	3,3
9	Джемансор	2013	13К-7	9,7	88	0,037	3,538	0,744	41
10	Бакланье	2014	14К-1	9,1	58	0,0010	0,51	0,06	2
11	Кривое	2014	14К-2	8,0	83	9,2·10 ⁻⁴	0,52	0,02	1,5
12	Горькое	2014	14К-3	9,4	-44	0,0040	1,7	0,78	14
13	Петухово	2014	14К-8	9,9	-359	1,0	7,32	25,8	69
14	Желтырь	2014	14К-9	9,6	1,8	4,1	8,84	11,1	100
15	Кривая Пучина	2014	14К-11	7,5	-1,0	0,066	1,04	<0,003	220
16	Петухово 2	2014	14К-12	7,6	-33	0,18	1,06	<0,003	369

теристикам озерных вод (pH, Eh, минерализации), содержанию в них урана, гидрокарбонат – и карбонат-ионов. Общая минерализация исследованных озерных вод колеблется от n-1 до 325 г/л при pH от 7,2 до 9,9 (табл. 1). Содержание карбонат-ионов варьируют в пределах <0,003 – 25,8 г/л, а гидрокарбонатов – в пределах 0,49–8,8 г/л. Содержание хлорид-ионов достигает 155 г/л, сульфат-ионов 97 г/л. Доминирующим катионом является натрий, в ряде случаев наблюдается повышенное содержание магния. Среди микроэлементов в озерных водах зафиксированы повышенные содержания бора (до 78 мг/л), брома (до 820 мг/л), лития (до 3,6 мг/л), стронция (до 13 мг/л), иода (до 6,3 мг/л), мышьяка (до 0,6 мг/л). Различия в концентрации макро и микрокомпонентов в небольших по размеру озерах связаны с резко различной гидрологической обстановкой на этих озерах в 2013 и 2014 гг., а также с отличием в ряде случаев в месте отбора проб озерной воды.

Содержание урана в исследованных озерах варьирует в широких пределах (9·10⁻⁴–4,1), составляя в среднем 0,3 мг/л. Содержание урана в озерных водах коррелирует с суммой карбонат и бикарбонат-ионов с коэффициентами корреляции Пирсона 0,675 (2014 г.) и 0,516 (2013 г.) (рис. 2). Концентрация урана в озерных водах достаточно хорошо коррелируют также с pH раствора озерных вод (0,528₂₀₁₄) и (0,438₂₀₁₃). В то же время наблюдается отрицательная корреляция с минерализацией (-0,155₂₀₁₄) и (-0,520₂₀₁₃). Корреляция концентраций урана с содержанием мышьяка +0,424₂₀₁₃ и -0,188₂₀₁₄. Сравнение озер Кулунды с озерами Западной Монголии [4] указывает на некоторые общие черты в их поведении: в обоих случаях наблюдается положительная корреляция концентрации урана в озерах с содержанием суммы карбонат и гидрокарбонат ионов, а также с pH

озерных вод. Есть и определенные отличия: для озер Монголии наблюдается слабая положительная корреляция между концентрацией урана и минерализацией (0,158), а для озер Кулунды – отрицательная. Наличие положительной корреляции между концентрацией карбонат-ионов и ураном в озерных водах свидетельствует о накоплении урана в форме карбонатных комплексов уранил-иона.

Появление урана в озерах Кулунды связано с подземными урансодержащими водами, разгрузка которых через речную сеть и непосредственно в озера приводит к накоплению урана в озерной воде. Испарение воды из озер в условиях недостаточного увлажнения территории способствует относительному обогащению озерных вод ураном. Источником урана в подземных водах являются породы областей питания – Алтая, Томь-Колыванской складчатой зоны и подстилающего фундамента, среди которых имеются специализированные на уран гранитоиды с содержаниями урана 3–4 г/т. Возможно также поступление урансодержащих вод со стороны Каменского поднятия. Деятельность инфильтрационных вод гидродинамических зон свободного и затрудненного водообмена, в условиях палеоруслового потока, направленного с юга на северо-запад, вдоль Иртышской зоны смятия привела к аккумуляции урана в мезо-кайнозойском чехле Кулундинской впадины (месторождение Михайловское) [2]. Они формируют в водоносных горизонтах рудоконтролирующую эпигенетическую зональность окислительного типа. На выклинивании региональной зоны грунтово-пластового окисления происходило рудоотложение урана инфильтрационного типа.

Зоны грунтово-пластового окисления из-за наличия эрозионных окон в относительно водоупорных глинистых отложениях палеорусловый структуры, имеют слож-

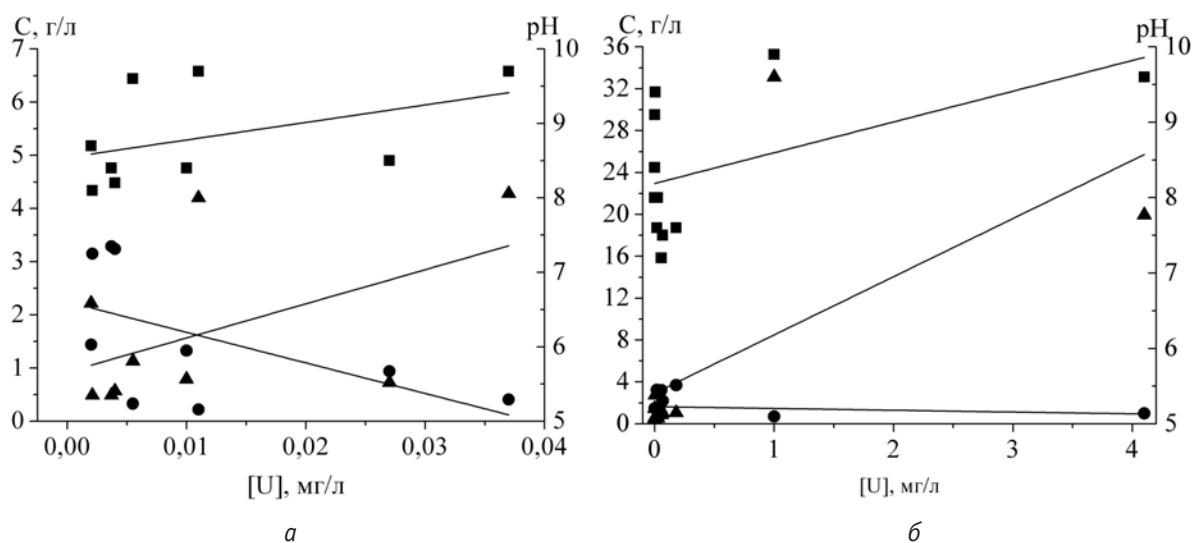


Рис. 2. Корреляция между концентрацией урана и минерализацией (•), pH озерных вод (■) и суммой карбонат и бикарбонат-ионов (▲). а) 2013 г.; б) 2014 г.

ную конфигурацию вследствие перетекания вод в ниже лежащие отложения и в местах скрытых очагов разгрузки, в верхние горизонты. Это способствовало “размыванию” урановых аккумуляции не только по латерали разреза, но по вертикали. Воды окислительной обстановки переводят легкорастворимые сульфатные и карбонатные соединения урана в раствор, особенно в верхней части разреза, где в силу недостаточного и умеренного увлажнения формируются воды содового типа, которые активно выщелачивают и переносят уран. Так, по данным работ ПГО “Березовгеология”, на уран в 1976–1993 гг. в районе п. Малиновое озеро, в водах палеогенового комплекса содержания урана достигают 0,02 мг/л, а в водах неоген-четвертичного комплекса в гидрокарбонатных натриевых водах с pH более 8 зафиксированы воды с содержанием урана 0,08–0,11 мг/л. Здесь были выявлены ураноносные зоны в мезо-кайнозойских отложениях Михайловского месторождения урана гидрогенного типа, протягивающиеся на 100 км при ширине 2 км вдоль горно-складчатого обрамления [3]. Таким образом, предполагается, что инфильтрационные воды, обогащенные ураном, в благоприятных резко-восстановительных условиях могли формировать промышленно-значимые урановородные концентрации в очагах скрытой региональной разгрузки (район Кулундинского озера), в условиях сходных с Чу-Сарысуской урановородной провинцией.

Выводы о предполагаемой промышленной ураноносности мезо-кайнозойских отложений Кулундинской впадины подтверждаются аномально-высокими содержаниями урана в озерах Петуховское, Куричье, Желтырь и других. Высокое содержание урана в этих озерах свидетельствует о разгрузке подземных урансодержащих вод. Об этом свидетельствует нормирование содержания урана в озерной воде на ее минерализацию, которое относительно характеризует водосборную часть водоемов. Для озер Петуховское и Желтырь эта вели-

чина составляет 15 и 40 г/т, соответственно, что существенно выше этого значения для остальных исследованных озер (менее 1 г/т). Предполагаемая ураноносная зона грунтово-пластового окисления протягивается вдоль восточного склона Платовского поднятия в северо-западном направлении вдоль границы с Казахстаном более чем на 300 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-13-05-00556.

Литература

1. *Гидрогеология СССР*. – М.: Недра, 1972. – 399 с.
2. Долгушин А.П., Макарова Т.М., Арзамасова Г.М. Перспективы ураноносности Кулундино-Барнаульской впадины // *Российский геофизический журнал*. – 1999. – № 15–16. – С. 50–51.
3. Долгушин А.П., Макарова Т.М., Царук И.И. Урановородный потенциал Центрально-Сибирского региона в связи с проблемой импортозамещения [Электронный ресурс] // *Материалы VIII Международного горно-геологического форума “МинГео Сибирь 2015”*. Красноярск, 2015 г. – URL: <http://www.urangeo.ru/news/tingeo2015>.
4. Ураноносность высокоминерализованных озер Северо-Западной Монголии / В.П. Исупов, А.Г. Владимиров, Н.З. Ляхов и др. // *ДАН*. – 2011. – Т. 437, № 1. – С. 85–89.
5. Исупов В.П., Шацкая С.С., Бородулина И.А. Уран в минерализованных озерах Западной Монголии и сопредельной территории России: ресурсы, источники накопления, пути инновационного освоения // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2014. – № 4. – С. 429–436.
6. Калдыбаев Б.К. Эколого-радиобиогеохимические исследования в условиях Прииссыкулья // *Вестник ИГУ*. – 2010. – № 26 (1). – С. 246–251.
7. Распространенность урана и тория в природных водах Тувы / Ю.Г. Копылова, Н.В. Гусева, Ч.К. Ойдуп и др.

- // Материалы IV международной конференции “Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека”. – Томск, 2013. – С. 291–294.
8. Матыченков В.Е., Тузова Е.В. Устойчивость изотопного состава урана в водах Иссык-кульского бассейна // Изучение гидродинамики оз. Иссык-Куль с использованием изотопных методов. – Бишкек, 2005. – Ч. 1. – С. 133–137.
 9. Динамика формирования и рудогенерирующий потенциал минерализованных озер Забайкалья и Северо-Восточной Монголии / О.А. Склярова, Е.В. Скляров, Ю.В. Меньшагин и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20, № 1. – С. 35–41.
 10. О возможностях извлечения урана из рапы озера Саяк-Куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов и др. // Доклады академии наук республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54, № 9. – С. 769–773.
 11. Янкович А.С. Особенности распространения тория и урана в природных водах Хакасии. // Материалы IV международной конференции “Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека”. – Томск, 2013. – С. 180–181.
 12. Geochemical evolution of uraniumiferous soda lakes in eastern Mongolia / B.S. Linhoff, P. Bennett, T. Puntsag et al. // Environmental Earth Sciences. – 2011. – Vol. 62. – P. 171–183.
 13. Mingkuan Qin. Current progresses and prospects on unconventional uranium resources (UUR) of China. Technical Meeting On Uranium from Unconventional Resources. 4–6 November 2009, IAEA Headquarters, Vienna [Электронный ресурс]. – URL: http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/documents/RawMaterials/TM_Vienna2009/presentations/9_QIN-CHINA.pdf.
 14. Yadav D.N., Sarin M.M. Geo-chemical Behavior of Uranium in the Sambhar Salt Lake, Rajasthan (India): Implications to “Source” of Salt and Uranium “Sink” // Aquat Geochem. – 2009. – Vol. 15. – P. 529–545.
 15. Distribution study of U, V, Mo, and Zr in different sites of lakes Van and Hazar, river and seawater samples by ICP-MS / M. Yaman, M. Ince, E. Erel et al. // CLEAN – Soil, Air, Water. – 2011. – Vol. 39, No. 6. – P. 530–536.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КУЛАРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

В.П. Исупов¹, И.А. Бородулина¹, С.С. Шацкая¹, Т.С. Юсупов²

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, isupov@solid.nsc.ru

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, yusupov@igm.nsc.ru

APPLICATION OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION FOR PROCESSING OF KULARITE CONCENTRATE

V.P. Isupov¹, I.A. Borodulina¹, S.S. Shatskaya¹, T.S. Yusupov²

¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

²Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

Рассмотрено влияние предварительной механической активации куларитового концентрата в планетарном активаторе АГО-2 на взаимодействие с 10% серной кислотой. Показано, что предварительная механическая обработка приводит к существенному увеличению степени извлечения в раствор тория, урана и редкоземельных элементов при температурах гидрохимической обработки менее 100 °С. Полученные данные позволяют рассматривать предварительную механическую активацию как эффективный прием для интенсификации процесса вскрытия куларитового концентрата и представляют интерес для разработки механохимической технологии его переработки.

Effect of mechanical activation of kularite concentrate in planetary activator AGO-2 on interaction with 10% sulfuric acid was investigated. It was shown that pre-activation can significantly increase the degree of extraction of thorium, uranium and rare earths in solution at temperatures less than 100 °C. The data allow us to consider a preliminary mechanical activation as an effective technique to intensify the processing of kularite concentrate.

Куларит является минералом, содержащим в своем составе фосфаты редких земель, урана и тория, и представляет собой аутигенную разновидность монацита [3]. Куларит представляет интерес в качестве источника редкоземельных элементов, а также тория и урана. В РФ месторождения куларита были обнаружены на севере Якутии и в Пермском крае [1]. Наиболее детально особенности распространения этого минерала изучены в Куларском районе Якутии [2], в котором в конце 50-х гг. прошлого столетия были обнаружены промышленные россыпи золота. Было установлено, что куларит повсе-

местно сопровождает россыпи золота и составляет основную часть попутных шлиховых материалов. В результате более чем 20-летней разработки Куларского района образовалась техногенная россыпь, содержащая значительное количество как редкоземельных, так и радиоактивных элементов. Таким образом, куларитсодержащие техногенные отходы представляют интерес в качестве источнике не только редкоземельных элементов, но и урана и тория.

Существует несколько основных подходов к переработке монацита, которые могут быть также использова-