

УДК 556.551 + 556.314

Уран в минерализованных озерах Западной Монголии и сопредельной территории России: ресурсы, источники накопления, пути инновационного освоения

В. П. ИСУПОВ, С. С. ШАЦКАЯ, И. А. БОРОДУЛИНА

*Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск 630128 (Россия)**E-mail: isupov@solid.nsc.ru*

Аннотация

Обобщены данные по содержанию урана и других компонентов в минерализованных озерах Западной Монголии и сопредельной с ней территории Российской Федерации. Выявлено, что содовые озера исследованных регионов характеризуется повышенным содержанием урана. Выполнена оценка запасов урана и других микро- (Li, Br, B, As и др.) и макрокомпонентов в озерных водах. Проанализированы геохимические источники накопления урана в озерных системах, а также формы его депонирования в воде и донных осадках озер. Рассмотрены возможные варианты пути извлечения урана и других ценных компонентов из озерных вод.

Ключевые слова: минерализованные озера, Монголия, Алтайский край, Горный Алтай, химический состав, уран, микрокомпонентный состав, сорбционное извлечение урана

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на аварию в марте 2011 г. на атомной электростанции Фукусима-1, атомная энергетика выстояла и имеет тенденцию к поступательному развитию. По существующим прогнозам [1] в краткосрочной и в среднесрочной перспективе спрос на урановое сырье будет покрываться преимущественно за счет добычи природного урана из традиционных урановых источников сырья, а также за счет использования ранее накопленных складских запасов урана. Однако в долгосрочной перспективе в связи с ухудшением качества сырья возможно использование нетрадиционных для атомной отрасли источников уранового сырья: фосфоритов, угольных месторождений, гидроминеральных ресурсов. Об интересе к ним со стороны мирового уранового сообщества свидетельствуют материалы конференции МАГАТЭ, посвященной нетрадиционным источникам уранового сырья, прошедшей в 2009 г. в Вене [2]. Среди

гидроминеральных источников урана наибольшее внимание привлекают воды морей и океанов с концентрацией урана 0.003 мг/л и с суммарными запасами урана примерно 4.5 млрд т [3]. Несмотря на значительное количество научных и прикладных работ, посвященных извлечению урана из морской воды, себестоимость получаемого U_3O_8 вдвое выше спотовой цены на этот продукт. Научные и технологические проблемы, возникающие при извлечении урана из морской воды, инициировали исследования по извлечению урана из минерализованных озер, где концентрация урана может быть существенно выше. Так, в 1960–1980-х годах под руководством академика АН СССР Б. Н. Ласкорина были проведены работы по извлечению урана из озера Иссык-Куль, концентрация в котором этого элемента достигает почти 0.03 мг/л [4]. Однако по ряду технических и экономических причин эти работы не нашли практического применения. Новый виток интереса к урановому сырью озерного типа обозначился в начале XXI столетия [2, 5–7].

Для оценки возможности использования озерных вод в качестве нетрадиционного источника уранового сырья необходимо располагать данными о содержании урана в озерных водах и донных осадках, иметь представление об источниках и механизме накопления этого элемента в озерных системах, а также владеть технологией извлечения урана и других сопутствующих полезных компонентов из озерных вод. Исследование содержания урана и форм его депонирования в озерных системах важно не только для оценки урановых ресурсов озер, но для понимания процессов образования экзогенных урановых месторождений и оценки экогеохимического состояния озерных систем. Накопление урана осуществляется за счет его выщелачивания из горных пород поверхностными и подземными водами и последующего аккумуляирования в озерах, поэтому наибольший интерес представляют минерализованные озе-

ра, расположенные на территории урановорудных районов различных регионов мира. С этой точки зрения особенно перспективны минерализованные озера, расположенные на урановорудной территории Монголии и сопредельной с ней территории Российской Федерации.

На территории Монголии насчитывается более 3500 минерализованных озер различного гидрохимического типа с размерами акваторий более 0.1 км² [8]. Большинство крупных (Хяргас нуур, Увс нуур, Держен нуур) и средних минерализованных озер расположено в западной части Монголии. Химический состав и гидроминеральные ресурсы соленых озер Монголии и сопредельной с ней территории Алтайского края и Горного Алтая (далее – Алтай) на протяжении длительного времени изучались российскими и монгольскими учеными, данные систематизированы и подробно освещены в литературе [8–11]. Ос-

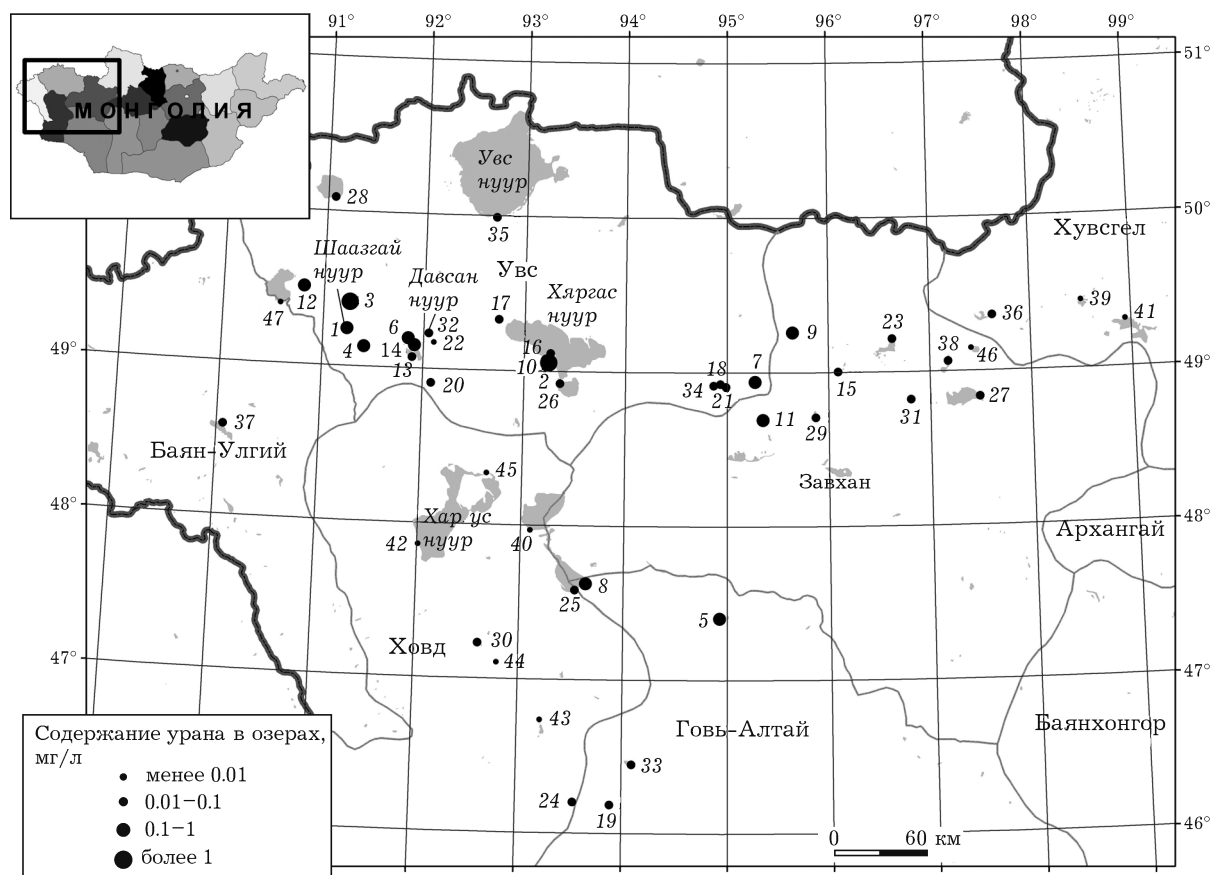


Рис. 1. Точки отбора проб в озерах на территории Западной Монголии и содержание в них урана.

ТАБЛИЦА 1

Точки отбора проб и состав озерных вод озер Западной Монголии

Номер пробы	Озера	Координаты места отбора проб	Годы	pH	E_h , мВ	U, мг/л	HCO_3^- , г/л	CO_3^{2-} , г/л	M, г/л
1	Шаазгай нуур	N49°13' E91°17'	2010, 2011, 2013	9.5	187	0.96	3.2	0.97	14.9
2	Бага Гашун нуур	N49°03' E93°15'	2010, 2012	7.9	88	2.5	4.2	0.060	323
3	Безымьянное	N49°25' E91°16'	2011, 2012	8.3	39	2.2	0.37	0	16
4	Бор Хаг нуур	N49°08' E91°25'	2012	9.8	н/о	0.46	0.57	н/о	20
5	Сангийн Далай нуур	N47°24' E94°56'	2010	7.6	101	0.38	0.75	0	278
6	Шар Бурд нуур	N49°11' E91°51'	2012	8.9	н/о	0.40	0.46	н/о	114
7	Цаган нуур	N48°56' E95°17'	2011	9.5	51	0.28	1.4	0.52	50
8	Цохор нуур	N47°38' E93°38'	2010	10.3	132	0.25	4.0	1.7	101
9	Цавдан нуур	N49°16' E95°39'	2011	7.4	46	0.22	0.93	0	350
10	Их Гашун нуур	N49°04' E93°14'	2010, 2012	9.8	82	0.35	2.7	0.61	25
11	Дэвтерийн Давс нуур	N48°42' E95°21'	2011	7.8	167	0.15	0.71	0	305
12	Бага нуур	N49°30' E90°48'	2008	н/о	н/о	0.13	н/о	н/о	н/о
13	Хар Ус нуур	N49°04' E91°53'	2010–2013	9.5	64	0.094	1.1	0.15	4.9
14	Бага нуур	N49°09' E91°55'	2010, 2012, 2013	9.5	50	0.11	1.5	0.15	5.2
15	Айраг нуур	N49°00' E96°06'	2009	9.1	143	0.095	1.3	0.21	25
16	Хяргас нуур	N49°07' E93°16'	2009–2012	9.5	63	0.090	1.6	0.39	8.2
17	Бага нуур	N49°20' E92°45'	2008	н/о	н/о	0.063	н/о	н/о	н/о
18	Олгой нуур	N48°56' E94°56'	2011	9.7	49	0.075	1.1	0.23	9.9
19	Тонхил нуур	N46°11' E93°54'	2010	8.0	95	0.077	1.7	0	270
20	Улгийн нуур	N48°55' E92°05'	2012	10.1	н/о	0.068	0.29	н/о	0.90
21	Тахилт нуур	N48°54' E94°59'	2011	7.9	49	0.055	0.62	0	320
22	Судж нуур	N49°10' E92°06'	2009, 2011, 2013	9.5	57	0.042	0.80	0.20	17
23	Ойгон нуур	N49°13' E96°38'	2011	9.4	44	0.049	1.3	0.29	20
24	Хулам нуур	N46°12' E93°33'	2010	6.9	100	0.047	0.84	0	299
25	Дерген нуур	N47°35' E93°32'	2010	9.9	95	0.034	1.7	0.23	5.5
26	Айраг нуур	N48°55' E93°21'	2012	9.6	н/о	0.027	0.66	0.13	2.6
27	Телмен нуур	N48°50' E97°29'	2009, 2011	9.3	52	0.025	1.1	0.27	8.5
28	Урег нуур	N50°05' E91°04'	2008	н/о	н/о	0.026	н/о	н/о	н/о
29	Цэгэн нуур	N48°42' E95°52'	2011	9.6	24	0.025	0.85	0.23	12
30	Дзергийн Цаган нуур	N47°14' E92°37'	2010	8.6	77	0.023	0.40	0	2.1
31	Тахилт нуур	N48°49' E96°49'	2009	8.9	94	0.020	0.66	0.024	5.3
32	Давсан нуур	N49°14' E92°03'	2009, 2011–2013	7.5	83	0.016	1.1	0.18	240
33	Ихэс нуур	N46°26' E94°06'	2010	6.1	203	0.020	0.62	0	128
34	Цаган нуур	N48°54' E94°52'	2011	9.4	34	0.020	0.45	0.054	7.8
35	Увс нуур	N49°59' E92°42'	2010	9.4	91	0.017	1.0	0.18	16
36	Джугнайн нуур	N49°21' E97°38'	2011	9.5	23	0.012	0.93	0.14	4.2
37	Толбо нуур	N48°35' E90°04'	2010	9.2	56	0.008	0.90	0.090	1.0
38	Холбо нуур	N49°04' E97°11'	2011	9.4	22	0.011	0.85	0.10	2.8
39	Тунамал нуур	N49°26' E98°31'	2011	9.4	15	0.0097	0.79	0.14	5.0
40	Хар нуур	N47°58' E93°06'	2010	7.5	35	0.0078	0.21	0	0.39
41	Сангийн Далай нуур	N49°18' E98°57'	2011	9.6	41	0.0060	1.1	0.18	4.3
42	Хар Ус нуур	N47°52' E92°01'	2010, 2013	7.8	112	0.0033	0.18	0	0.28
43	Их-гойруулга нуур	N46°44' E93°13'	2010	7.6	100	0.0045	0.15	0	0.38
44	Худо нуур	N47°07' E92°48'	2010	6.9	124	0.0034	0.28	0	0.51
45	Далай нуур	N48°20' E92°39'	2010	9.5	75	0.0032	0.13	0	0.24
46	Буст нуур	N49°09' E97°25'	2011	9.7	28	0.0030	1.0	0.11	2.7
47	Ачит нуур	N49°24' E90°34'	2008, 2010, 2013	8.5	94	0.0055	0.18	0	0.38

Примечание. Н/о – не определяли.

новное внимание в этих исследованиях уделялось макрокомпонентному составу озерных вод. В то же время систематических исследований содержания урана в озерных водах этих регионов в открытой печати крайне мало [6].

Исследования ураноносности минерализованных озер Монголии и Алтая выполнены в 2007–2013 гг. в рамках интеграционных проектов СО РАН (№ 38, 110) и проекта РФФИ 13-05-00556. Результаты их частично опубликованы ранее в работах [12–15]. При исследовании монгольской территории основное внимание уделялось Западной Монголии.

УРАН В ОЗЕРАХ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ РФ

Западная Монголия

На рис. 1 приведены места отбора проб на территории Западной Монголии; данные по концентрации урана в озерных водах и некоторым параметрам вод представлены в табл. 1. Минерализация исследованных озерных вод (M) колеблется от 0.3 до 350 г/л, рН 6.1–10.3, окислительно-восстановительный потенциал $E_h = 15–187$ мВ. Содержание карбонат-ионов варьирует в пределах 0–1.7 г/л, гидрокарбонатов – в пределах 0.13–4.2 г/л. Концентрация хлорид-ионов изменяется от 0.008 до 190 г/л, сульфат-ионов – от 0.018 до 116 г/л. Доминирующий катион – натрий, его содержание изменяется в пределах 0.025–118 г/л. В ряде случаев наблюдается повышенное содержание магния с максимумом 25–28 г/л. Содержание урана в исследованных озерах варьирует в широких пределах – 0.003–2.5 мг/л.

Наряду с ураном в озерных водах зафиксированы повышенные содержания бора (до 250 мг/л), брома (до 1.1 г/л), лития (до 100 мг/л), стронция (до 8 мг/л). Среди микроэлементов необходимо отметить повышенное содержание мышьяка, которое достигает 0.56 мг/л. Ранее при изучении ряда содовых озер Северо-Западной Монголии был установлен достаточно высокий коэффициент корреляции (0.738) между концентрацией бикарбонат-ионов и концентрацией урана; коэффициент корреляции между минерализацией и содержанием урана при этом оказался ниже (0.158) [14]. Для изученных нами минерализованных и слабоминерализованных озер, характеризующихся более широким спектром гидрохимических типов, коэффициенты корреляции составляют 0.439 и 0.216 соответственно. Достаточно высокие коэффициенты корреляции между концентрацией бикарбонат- (карбонат)-ионов и концентрацией урана для широкой выборки озер свидетельствуют о важной роли карбонатных комплексов уранил-иона в процессах накопления урана в озерных водах, что согласуется с известными представлениями о роли этих комплексов в миграции урана в водной среде [16].

Алтай

На территории Чуйской степи расположен ряд мелких минерализованных озер, которые были опробованы в 2009 г. [14]. Концентрация урана в них варьирует в интервале 0.001–0.029 мг/л. Анализ макрокомпонентов не проводился. Исследование минерализованных озер Алтайского края, выполненное в ходе

ТАБЛИЦА 2

Точки отбора проб и состав озерных вод Алтайского края

Номер пробы	Озера	Координаты места отбора проб	рН	E_h , мВ	U, мг/л	HCO_3^- , г/л	CO_3^{2-} , г/л	M, г/л
1	Кулундинское	N 52°49'26.5" E-79°35'18.4"	8.7	58	0.0020	1.9	0.23	144
2	Кучукское	N 52°42'45.9" E-79°40'35.5"	8.2	83	0.0040	0.57	–	324
3	Б. Яровое	N-52°52'26.8" E-78°33'2.6"	8.4	33	0.010	0.61	0.18	133
4	Бурлинское	N-53°09'53.7" E-78°25'31.9"	8.1	51	0.0021	0.49	–	315
5	Б. Топольное	N-53°15'53.9" E-78°02'53.9"	9.7	17.6	0.011	3.1	1.1	22.4
6	Куричье	N-52°13'46.5" E-79°28'42.7"	8.5	74	0.027	0.61	0.12	94.5
7	Малиновое	N-51°40'36.5" E-79°45'16.3"	8.4	25	0.0037	0.49	–	329

ТАБЛИЦА 3

Рудогенерирующий потенциал озер Западной Монголии по результатам экспедиционных исследований 2007–2013 гг.

Озера	[U _{ср}], мг/л	U (запасы), т	Сопутствующие полезные компоненты (запасы), т						
			Br	B	Li	Mg	Na	Cl	S (SO ₄ ²⁻)
Шаазгай нуур	0.73	73	120	75	8	130	39 000	47 000	4700
Сангийн Далай нуур	0.38	95	1300	1680	85	5800	4 · 10 ⁵	5 · 10 ⁵	3.5 · 10 ⁵
Хара Ус нуур	0.089	28	1730	700	340	18 000	4.2 · 10 ⁵	5.4 · 10 ⁵	1.5 · 10 ⁵
Хяргас нуур	0.082	5400	2.4 · 10 ⁵	2.3 · 10 ⁵	20 000	1.7 · 10 ⁷	1.1 · 10 ⁸	9.9 · 10 ⁷	1.3 · 10 ⁸
Ойгон нуур	0.049	10	4760	660	114	10 ⁵	33 100	1.6 · 10 ⁶	1.9 · 10 ⁶
Дерген нуур	0.035	150	13 500	12 200	2000	5.2 · 10 ⁶	4.6 · 10 ⁶	2.9 · 10 ⁶	4.2 · 10 ⁶
Айраг нуур	0.045	37	1690	2210	98	73 800	5.1 · 10 ⁵	5.6 · 10 ⁵	6.6 · 10 ⁵
Тэлмэн нуур	0.025	67	15 200	4270	1000	9.2 · 10 ⁵	6.7 · 10 ⁶	5.1 · 10 ⁶	4.8 · 10 ⁶
Урег нуур	0.026	165	7000	3900	450	3.1 · 10 ⁷	5.2 · 10 ⁶	4.1 · 10 ⁶	н. д.
Увс нуур	0.017	673	3 · 10 ⁵	1.1 · 10 ⁵	7000	1.9 · 10 ⁷	1.2 · 10 ⁸	1.6 · 10 ⁸	9.1 · 10 ⁷

Примечание. Н. д. – нет данных.

гидрохимической экспедиции 2013 г., свидетельствует о том, что концентрация урана в озерах Алтая существенно ниже – от 0.002 до 0.027 мг/л (табл. 2) [17]. Имеющихся в настоящее время экспериментальных данных по озерам Чуйской степи и Алтайского края пока недостаточно для выявления корреляций между концентрацией урана в озерных водах и их физико-химическими характеристиками.

Источники накопления и запасы урана в озерных системах

Наиболее детально процессы накопления урана изучены на примере озера Шаазгай нуур, расположенного в южной части Хархиринского нагорья Северо-Западной Монголии [15]. Привлекательность его в качестве объекта исследования обусловлена как высо-

кой концентрацией урана в воде этого озера (на уровне 1 мг/л), так и тем, что территория водосбора озера расположена в пределах Цаган-Шибетинской потенциальной урановорудной зоны [18]. Окружающее озеро горы представлены Хархиринским интрузивным комплексом субщелочных лейкогранитов раннекаменноугольного возраста и Елинским интрузивным комплексом с аляскитовыми лейкогранитами, аляскитами и щелочными аляскитами с рибекитом, арфведсонитом и эгирином. К северу от озера, вблизи верховий реки Харгайн-Гол, установлено существование уранового рудопроявления Гоожуур, в минералогическом составе которого присутствуют отенит и β-уранофан [19]. Особенностью Шаазгайнуурской межгорной впадины является наличие островной многолетней мерзлоты мощностью до 100 м. Надмерзлотные

ТАБЛИЦА 4

Рудогенерирующий потенциал озер Алтайского края по результатам экспедиционных исследований 2013 г.

Озера	[U _{ср}], мг/л	U (запасы), т	Сопутствующие полезные компоненты (запасы), т						
			Br	B	Li	Mg	Na	Cl	S (SO ₄ ²⁻)
Кулундинское	0.0020	1.6	1.4 · 10 ⁵	7100	135	10 ⁷	7 · 10 ⁷	9 · 10 ⁷	4.1 · 10 ⁷
Кучукское	0.0040	2	48 000	500	23	8.5 · 10 ⁶	4.8 · 10 ⁷	8.5 · 10 ⁷	1.9 · 10 ⁷
Б. Яровое	0.010	1	6890	99.6	4.7	1.1 · 10 ⁶	4.2 · 10 ⁶	10 ⁷	5.9 · 10 ⁵
Бурлинское	0.0021	0.1	10 000	23	0.8	7.7 · 10 ⁵	5 · 10 ⁶	8.6 · 10 ⁶	1.7 · 10 ⁶
Б. Топольное	0.011	1.7	3980	337	15	1.5 · 10 ⁵	8.6 · 10 ⁵	9.5 · 10 ⁵	8.1 · 10 ⁵
Куричье	0.027	0.3	370	12	1	50 000	2.7 · 10 ⁵	4.4 · 10 ⁵	1.8 · 10 ⁵
Малиновое	0.0037	0.1	1640	22	0.9	1.1 · 10 ⁵	2.3 · 10 ⁶	3.5 · 10 ⁶	6.4 · 10 ⁵

подземные воды, относящиеся к содовому типу и содержащие бикарбонат-ионы, взаимодействуют с урансодержащей горной породой, расположенной на водосборной территории озера, и образуют карбонатные комплексы уранила, которые накапливаются в озере. Испарение воды из озер в условиях аридного климата способствует их обогащению ураном до концентрации почти 1 мг/л. Процессы испарения приводят к увеличению концентрации не только урана, но и остальных макро- и микрокомпонентов. Как следствие, озерные воды озера оказываются пересыщенными по отношению к ряду минералов (кальцит и др.), которые выпадают в осадок, в результате чего содержание урана в донных осадках в 50–100 раз превышает его концентрацию в воде озера [15].

По данным о содержании урана в озерах и об объемах озер оценено содержание урана в наиболее крупных озерах Западной Монголии и Алтайского края (табл. 3, 4 соответственно). Наибольшие запасы урана (свыше 5000 т) сосредоточены в водах озера Хяргас нуур с концентрацией урана 0.08 мг/л, площадь водосбора которого достигает 170 000 км². Основное питание озеро получает через пролив Нурын-Холой, несущий воду из близлежащего озера Айраг нуур с концентрацией урана 0.03 мг/л. Озеро Айраг нуур, в свою очередь, питается водами самой крупной реки Западной Монголии – Завхан-Гол с содержанием урана 0.004 мг/л, водосборная территория которой располагается в пределах Северо-Монгольской урановорудной провинции [18]. Уран накапливается в озере Хяргас нуур как за счет поступления речных вод, так и за счет разгрузки в него подземных вод с содержанием урана от 0.01 до 0.03 мг/л. Еще одно озеро с высоким содержанием урана в воде – Увс нуур, расположенное к северу от озера Хяргас нуур. Концентрация и запасы урана в озерах Алтая существенно ниже по сравнению с озерами Западной Монголии (см. табл. 2, 4). Столь существенные различия связаны с тем, что водосборные территории всех крупнейших озер Западной Монголии приурочены к урановорудным районам этого региона, чего нельзя сказать об озерах Алтая.

Пути инновационного освоения озерных вод урансодержащих озер

Приведенные в табл. 3 и 4 данные свидетельствуют о том, что наряду с ураном в озерах Западной Монголии и Алтая в значительных количествах содержатся микрокомпоненты, среди которых наибольший интерес представляют бром, бор, литий, йод.

Бром, йод. Значительные запасы этого ценного сырья находятся в озерах Алтая (Кулундинское, Кучукское). Среди озер Западной Монголии максимальные запасы брома обнаружены в озерах Увс нуур и Хяргас нуур. Максимальная концентрация брома зафиксирована в озере Давсан нуур (примерно 1 г/л).

Бор. Как и в случае брома, наибольшие запасы этого элемента (сотни тысяч тонн) сосредоточены в озерах Хяргас нуур и Увс нуур. Максимальные запасы бора в озерах Алтая меньше по сравнению с озерами Монголии и приурочены к Кулундинскому озеру (7 тыс. т).

Литий. Концентрация лития в озерах Алтая и Монголии, как правило, меньше концентрации бора и брома и промышленных кондиций на этот элемент (10 мг/л). Однако имеются и исключения. Так, по данным многолетних исследований, в озере Давсан нуур содержание лития находится на уровне 50–100 мг/л. Среди озер Монголии наибольшими запасами этого элемента выделяется озеро Хяргас нуур (20 тыс. т). В озерах Алтая максимальные запасы лития сосредоточены в Кулундинском озере.

Поликомпонентный состав озерных вод ставит вопрос о необходимости комплексного использования озерного сырья, предполагающего извлечение как урана, так и остальных ценных макро- и микрокомпонентов. Более высокие по сравнению с морской водой концентрации урана в озерных водах позволяют использовать сорбционные методы, применяющиеся в гидрометаллургии урана. Так, в работе [20] показана возможность количественного извлечения урана из озерных вод озера Шаазгай нуур с концентрацией урана 1 мг/л. В качестве сорбентов урана использованы аниониты АМ-II, Purolite A-400, Purolite A-560, а также гидроксид железа, полученный гальванокоагуляционным методом. Сорбция-десорбция урана реализована

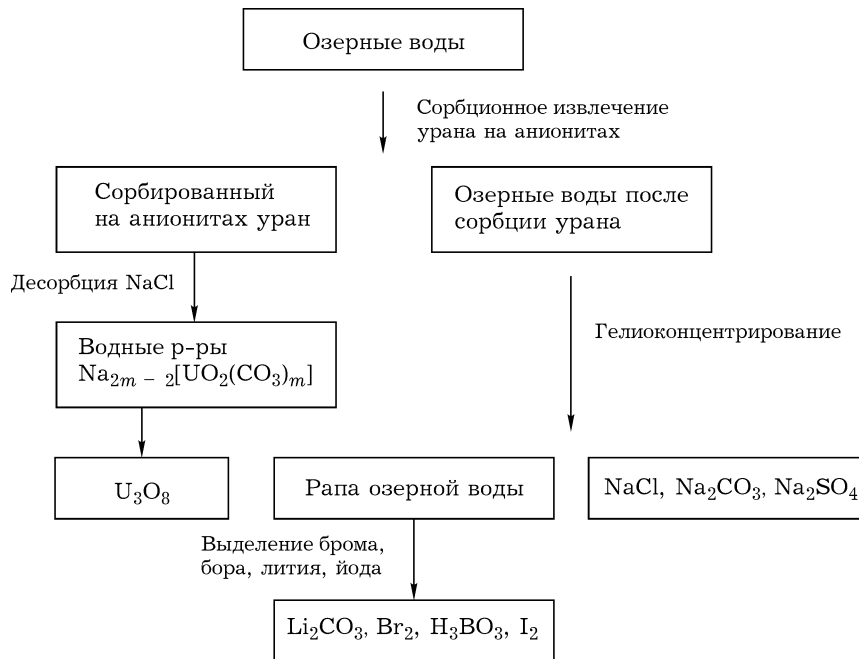


Рис. 2. Схема комплексной переработки минерализованных вод.

как в статическом, так и динамическом режимах. Концентрация урана в десорбатах составляет 40–60 мг/л, что сопоставимо с концентрациями урана, получаемыми при добыче урана методом подземного выщелачивания.

На основании полученных данных можно предложить следующую схему переработки озерных вод с концентрацией урана ~1 мг/л (рис. 2). На первом этапе процесса озерная вода подвергается очистке от механических примесей и извлечению из нее урана с помощью анионитов. Сорбция урана происходит в форме карбонатных комплексов уранил-иона. Десорбция урана из анионита осуществляется с использованием водного раствора хлорида натрия. Образующиеся элюаты с концентрацией 40–60 мг/л перерабатываются с применением известных в гидрометаллургии урана приемов. Озерные воды после извлечения из них урана подвергаются гелиоконцентрированию в 20–30 раз с выделением основной части солей натрия в твердую фазу. После выделения солей натрия концентрации лития, брома, йода и бора в маточных растворах сопоставимы или превышают существующие промышленные кондиции, принятые для этих элементов (содержание в подземных мине-

рализованных водах). Эти элементы могут быть извлечены из маточных растворов с помощью известных приемов, которые применяются при переработке минерализованных вод [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содовые озера, расположенные на территории урановорудных районов Западной Монголии, характеризуются повышенным содержанием урана и могут рассматриваться в качестве нетрадиционного источника уранового сырья. Сравнительная оценка урановых запасов озер Западной Монголии, Горного Алтая и Алтайского края позволяет обратить особое внимание на озеро Хяргас нуур, минерализованные воды которого имеют не только повышенные концентрации урана (0.08–0.09 мг/л), но и экономически привлекательные запасы (свыше 5 тыс. т). Наряду с ураном в озерах изученных регионов обнаружены высокие концентрации и значительные запасы брома, бора и лития, что диктует необходимость комплексной переработки озерных вод. Для извлечения урана из озерных вод могут быть использованы сорбционные методы, применяемые в гид-

рометаллургии урана. Для извлечения остальных полезных компонентов (брома, лития, бора) можно задействовать существующие в гидрометаллургии и галургии технологии извлечения этих элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (интеграционные проекты № 45, 110) и РФФИ (проект № 13-05-00556).

Авторы выражают глубокую благодарность А. Г. Владимирову, М. Н. Колпаковой, С. Ариунбилэг, С. Л. Шварцеву, Л. В. Куйбиде, О. П. Герасимову, Н. Ф. Глазыриной, И. А. Дервягиной, Л. Э. Чупахина за помощь в проведении экспедиционных работ и анализе полученных экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тарханов А. В. // Тез. Третьего междунар. симп. "Уран: Геология, ресурсы, производство". Москва, 2013. С. 153–154.
- 2 Mingkuan Qin // Technical Meeting on Uranium from Unconventional Resources. 4–6 November, 2009. IAEA Headquarters, Vienna.
URL: http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/documents/RawMaterials/TM_Vienna2009/presentations/9_QIN-CHINA.pdf.
- 3 Kim J., Tsouris C., Mayes R. T., Oyola Y., Saito T., Janke C. J., Dai S., Schneider E., Sachde D. // Separation Sci. Technol. 2013. Vol. 48, No. 3. P. 367–387.
- 4 Калдыбаев Б. К. Эколого-радиобиогеохимические исследования в условиях Прииссыкулья. Бишкек: Изд-во Иссык-Кульского гос. ун-та, 2010. С. 246.
- 5 Yadav D. N., Sarin M. M. // Aquat Geochem. 2009. Vol. 15. P. 529–545.
- 6 Linhoff B. S., Bennett P., Puntsag T., Gerel O. // Environ. Earth Sci. 2011. Vol. 62. P. 171–183.
- 7 Mehmet Yaman, Muharrem Ince, Ensar Erel, Emine Cengiz, Tulin Bal, Cigdem Er, Fevzi Kilicel // CLEAN – Soil, Air, Water. Vol. 39, Iss. 6. P. 530–536.
- 8 Рассказов А. А., Лувсандорж Ш., Севастьянов Д. В., Цэрэнсондом Ж., Егоров А. Н. Озера МНР и их минеральные ресурсы. М.: Наука, 1991. С. 136.
- 9 Лувсандорж Ш. Минеральные озера Монголии и возможности использования их солей (на монгол. яз.). Улан-Батор: Изд-во АН МНР, 1973. С. 147.
- 10 Цэрэнсондом Ж. Монгол орны нуурын каталог. Улаанбаатар: Шуувун Сараал, 2000. С. 141.
- 11 Никольская Ю. П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1961. С. 186.
- 12 Исупов В. П., Владимиров А. Г., Шварцев С. Л., Ляхов Н. З., Шацкая С. С., Чупахина Л. Э., Куйбида Л. В., Колпакова М. Н., Ариунбилэг С., Кривоногов С. Л. // Химия уст. разв. 2011. Т. 19, № 2. С. 141–150.
- 13 Шварцев С. Л., Исупов В. П., Владимиров А. Г., Колпакова М. Н., Ариунбилэг С., Шацкая С. С., Мороз Е. Н. // Химия уст. разв. 2012. Т. 20, № 1. С. 43–49.
- 14 Исупов В. П., Владимиров А. Г., Ляхов Н. З., Шварцев С. Л., Ариунбилэг С., Колпакова М. Н., Шацкая С. С., Чупахина Л. Э., Куйбида Л. В., Мороз Е. Н. // Докл. АН. 2011. Т. 437, № 1. С. 85–89.
- 15 Исупов В. П., Ариунбилэг С., Разворотнева Л. И., Ляхов Н. З., Шварцев С. Л., Владимиров А. Г., Колпакова М. Н., Шацкая С. С., Чупахина Л. Э., Мороз Е. Н., Куйбида Л. В. // Докл. АН. 2012. Т. 447, № 6. С. 658–663.
- 16 Drever J. I. (Ed.). Surface and groundwater, weathering, and soils // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. Elsevier, Pergamon, 2005. 605 p.
- 17 Исследование геохимического состава озерных вод юга Алтайского края: отчет о НИР (заключ.) / Рук. С. Л. Шварцев, М. Н. Колпакова. Томск, ТФ ИНГ СО РАН, 2013. 11 с.
- 18 Урановые месторождения Монголии / Отв. ред. Миронов Ю. Б., Шувалов Ю. М. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. С. 304.
- 19 Чистоедов Л. В. Геологическое строение и полезные ископаемые Хархиринского нагорья в Западной Монголии. // Геологический фонд. № 4506. Т. 1. Кн. 1. 1989–1990. Улаанбаатар, Монголия, 1990.
- 20 Островский Ю. В., Заборцев Г. М., Ляхов Н. З., Исупов В. П. // Химия уст. разв. 2012. Т. 20, № 6. С. 707–712.
- 21 Коцупало Н. П. Физико-химические основы получения селективных сорбентов и создание технологий извлечения лития из рассолов с их использованием: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2000. 187 с.